



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISIS PARAMETER *SIGNAL TO NOISE RATIO*  
DAN *BIT ERROR RATE* DALAM  
*BACKBONE* KOMUNIKASI FIBER OPTIK  
SEGMENT LAMONGAN-KEBALEN**

RIMA FITRIA ADIATI  
NRP. 2413100062

Dosen Pembimbing :  
Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc  
Ir. Heru Setijono, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISIS PARAMETER *SIGNAL TO NOISE RATIO*  
DAN *BIT ERROR RATE* DALAM  
*BACKBONE* KOMUNIKASI FIBER OPTIK  
SEGMENT LAMONGAN-KEBALEN**

RIMA FITRIA ADIATI  
NRP. 2413100062

Dosen Pembimbing:  
Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc  
Ir. Heru Setijono, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





FINAL PROJECT - TF 141581

***ANALYSIS OF SIGNAL TO NOISE RATIO  
AND BIT ERROR RATE PARAMETERS OF  
OPTICAL FIBER COMMUNICATION BACKBONE  
IN LAMONGAN-KEBALEN SEGMENT***

RIMA FITRIA ADIATI  
NRP. 2413100062

Supervisor:  
Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc  
Ir. Heru Setijono, M.Sc

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rima Fitria Adiati  
NRP : 2413100062  
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“Analisis Parameter *Signal to Noise Ratio* dan *Bit Error Rate* dalam *Backbone* Komunikasi Fiber Optik Segmen Lamongan-Kebalen”** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2017  
Yang membuat pernyataan,



Rima Fitria Adiati





**ANALISIS PARAMETER *SIGNAL TO NOISE RATIO*  
DAN *BIT ERROR RATE* DALAM  
*BACKBONE* KOMUNIKASI FIBER OPTIK  
SEGMENT LAMONGAN-KEBALEN**

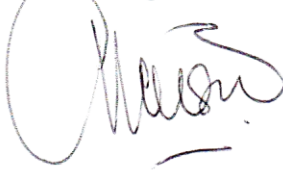
**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**RIMA FITRIA ADIATI**  
**NRP. 2413100062**

Surabaya, Juli 2017  
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc  
NIP. 19530404 19701 2 001

Pembimbing II



Ir. Heru Setijono, M.Sc

Ketua Departemen Teknik Fisika ITS



**Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, PhD**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**



**ANALISIS PARAMETER *SIGNAL TO NOISE RATIO* DAN  
*BIT ERROR RATE* DALAM  
BACKBONE KOMUNIKASI FIBER OPTIK  
SEGMENT LAMONGAN-KEBALEN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Fotonika  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RIMA FITRIA ADIATI**  
**NRP. 2413100062**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc ..... (Pembimbing I)
2. Ir. Heru Setijono, M.Sc ..... (Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc ..... (Ketua penguji)
4. Dr.rer.nat Ir. Aulia M.T. Nasution, M.Sc ..... (Penguji I)
5. Detak Yan Pratama, ST, M.Sc ..... (Penguji II)

**SURABAYA**  
**JULI 2017**



**ANALISIS PARAMETER *SIGNAL TO NOISE RATIO* DAN  
*BIT ERROR RATE* DALAM  
BACKBONE KOMUNIKASI FIBER OPTIK  
SEGMENT LAMONGAN-KEBALEN**

**Nama** : Rima Fitria Adiati  
**NRP** : 2413100062  
**Prodi** : S1 Teknik Fisika  
**Pembimbing** : Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc  
Ir. Heru Setijono, M.Sc

**ABSTRAK**

Fiber optik telah menjadi solusi atas meningkatnya kebutuhan transfer data dengan kapasitas dan kecepatan tinggi. Dengan 4.3 juta pelanggan dan proyeksi pertumbuhan sebesar 18.3% pertahun, sektor *fixed broadband* PT Telkom Indonesia bergantung pada kualitas infrastruktur *backbone* fiber optik, yang dapat direpresentasikan melalui parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap parameter SNR dan BER pada segmen *backbone* fiber optik antara STO Lamongan 1 dan STO Kebalen, Surabaya. SNR merupakan perbandingan logaritmik antara daya sinyal dan *noise* yang diterima *receiver*, sedangkan BER adalah ukuran intensitas terjadinya *error* pembacaan bit data. Pengukuran di *receiver* STO Kebalen dilakukan dengan menyambungkan BER Tester ke salah satu *port channel* DWDM dalam *Optical Transport Network* (OTN) platform selama 24 jam dan menghasilkan BER  $10^{-23}$ . Pengukuran *receiver sensitivity* dilakukan dengan menambahkan *optical attenuator* sehingga diketahui pengaruh atenuasi daya terhadap BER. Untuk menganalisa parameter SNR dan BER secara keseluruhan, perlu dilakukan simulasi dengan *software* Optisystem. *Backbone* 100 Gbps sepanjang 84 km dengan sistem DWDM 10 *channel* ini disimulasikan pada frekuensi 193.1 - 194 THz dengan *spacing* 100 GHz antar *channel*. Parameter simulasi dipilih berdasarkan karakteristik *backbone* dan *datasheet* komponen, sedangkan WDM *analyzer* dan BER *analyzer* digunakan sebagai alat ukur. Hasil simulasi menunjukkan nilai SNR dan BER memenuhi standar dan dipengaruhi frekuensi atau panjang gelombang di setiap *channel*. SNR maksimum adalah 72.37 pada 193.6

THz dan nilai BER minimum yaitu  $2.05 \times 10^{-30}$  pada 193.5 THz.. Untuk mendapatkan nilai BER optimum yaitu  $10^{-12}$ , dilakukan pemasangan *dispersion compensating fiber* serta penambahan daya *transmitter* pada *channel* berfrekuensi 193.1, 193.2, 193.9, dan 194 THz.

**Kata kunci** : SNR, BER, DWDM, Optisystem

**ANALYSIS OF SIGNAL TO NOISE RATIO  
AND BIT ERROR RATE PARAMETERS OF  
OPTICAL FIBER COMMUNICATION BACKBONE  
IN LAMONGAN-KEBALEN SEGMENT**

<b>Name</b>	<b>: Rima Fitria Adiati</b>
<b>ID</b>	<b>: 2413100062</b>
<b>Study Program</b>	<b>: Bachelor of Engineering Physics</b>
<b>Supervisor</b>	<b>: Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc Ir. Heru Setijono, M.Sc</b>

**ABSTRACT**

*Optical fiber has been used to fulfil the increasing need of high speed and high capacity data transfer. With 4.3 million users and 18.3% growth projection per year, fixed broadband sector of PT Telkom Indonesia relies on the quality of fiber optic backbone infrastructure, which represented by the Signal to Noise Ratio (SNR) and Bit Error Rate (BER). So, it is necessary to analyze SNR and BER parameters of fiber optic backbone in the segment between STO Lamongan 1 and STO Kebalen, Surabaya. SNR is logarithmic ratio of received signal and noise power, while BER is the measure of incorrect bit identification probability. The measurement process taken in STO Kebalen's receiver by connecting BER Tester into one of the DWDM ports in Optical Transport Network (OTN) platform for 24 hours. It showed the result of BER  $10^{-23}$ . The measurement of receiver sensitivity is done by adding variable optical attenuator so the effect of power attenuation to BER is obtained. To better analyze SNR and BER parameters completely, it needs a simulation brought by Optisystem software. The 100 Gbps, 84 km, 10 channels DWDM backbone is simulated in 193.1-194 THz with 100 GHz of frequency spacing. Parameters of the simulation are following the characteristic of the backbone itself and components datasheets. WDM analyzer and BER analyzer are used as measurement instrument. The simulation shows that SNR and BER of the system is acceptable based on standards and different at each frequency or wavelength channel. Maximum SNR is 72.37 at 193.6 THz, while minimum BER reaches  $2.05 \times 10^{-30}$  at 193.5 THz. To*

*obtain the optimum BER of  $10^{-12}$ , two kinds of treatment, dispersion compensating fiber installation and transmitter power addition on 193.1, 193.2, 193.9, and 194 THz are simulated.*

**Keywords:** SNR, BER, DWDM, Optisystem



## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan karena dengan rahmat Allah SWT, pelaksanaan Tugas Akhir pada semester genap 2016/2017 ini dapat berjalan dengan lancar. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu sejak awal perumusan masalah hingga penulisan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Parameter *Signal to Noise Ratio* dan *Bit Error Rate* dalam *Backbone* Komunikasi *Fiber Optik Segmen Lamongan-Kebalen*”** ini telah selesai. Pihak tersebut antara lain :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS
2. Ibu Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc. dan Bapak Ir. Heru Setijono, M.Sc. selaku pembimbing tugas akhir
3. Bapak Prof. Sekartedjo selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Fotonika dan seluruh dosen bidang minat rekayasa fotonika
4. Bapak Nashruddin Akbar selaku Manajer *Infrastructure Design and Engineering* Regional V dan Bapak Achmad Muslich selaku pengawas lapangan *Network Area* Surabaya PT Telkom Indonesia yang telah memberikan bantuan selama pengambilan data tugas akhir
5. Keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan do’a
6. Rekan asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika yang selalu memberikan motivasi dan membantu penyelesaian tugas akhir ini
7. Teknik Fisika ITS angkatan 2013, teman seperjuangan dalam menempuh perkuliahan
8. dan segala pihak yang tidak dapat penulis sebut satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih dapat dikembangkan, baik dari segi isi maupun tata tulis. Untuk itu saran serta kritik yang membangun sangat diharapkan sebagai evaluasi dan perbaikan di masa yang akan datang. Semoga laporan ini bermanfaat dan dapat menjadi refensi untuk keilmuan Teknik Fisika, khususnya bidang minat rekayasa fotonika.

Surabaya, Juli 2017

Penulis.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK .....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Fiber Optik sebagai Media Komunikasi .....	5
2.2 Komponen Sistem Komunikasi Fiber Optik.....	12
2.3 <i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i> (DWDM) ...	15
2.4 <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) .....	17
2.5 <i>Bit Error Rate</i> (BER) .....	18
2.6 <i>Dispersion Compensating Fiber</i> (DCF) .....	22
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2 Pengambilan Data BER Jaringan Fiber Optik .....	26
3.3 Prosedur Simulasi .....	28
BAB IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1 Hasil Pengukuran <i>Bit Error Rate</i> (BER).....	31
4.2 Simulasi <i>Backbone</i> Segmen Lamongan-Kebalen.....	32
4.3 Analisis <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) Hasil Simulasi .	35
4.4 Analisis <i>Bit Error Rate</i> (BER) Hasil Simulasi .....	39
4.5 Pengaruh Penambahan <i>Dispersion Compensating Fiber</i> (DCF) dan Daya <i>Transmitter</i> terhadap BER .....	43

4.6	Pengaruh Penambahan <i>Dispersion Compensating Fiber</i> (DCF) dan Daya <i>Transmitter</i> terhadap SNR.....	50
4.7	Pembahasan .....	53
BAB V. PENUTUP .....		57
5.1	Kesimpulan .....	57
5.2	Saran .....	58
DAFTAR PUSTAKA .....		59
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....		63

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1. Struktur fiber optik (Keiser, 2010) .....	5
Gambar 2.2. Perbandingan antara jenis - jenis fiber optik (Keiser, 2010).....	6
Gambar 2.3. Perbandingan ukuran fiber optik terhadap kabel tembaga (Spectaris German Hightech Industry Association & SPIE , 2016).....	8
Gambar 2.4. Proses terjadinya distorsi (Keiser, 2010) .....	11
Gambar 2.5. Susunan dasar komunikasi optik (Agrawal, 2002) ...	12
Gambar 2.6. Konsep dasar WDM (Keiser, 2010) .....	13
Gambar 2.7. Konektor SC (a) dan ST (b) (Massa, 2000) .....	14
Gambar 2.8. Mechanical dan fusion splicing (Keiser, 2010) .....	15
Gambar 2.9. Sistem single-channel dan multichannel (International Telecommunication Union, 2009).....	16
Gambar 2.10. Sinyal optik pada 1043.4 nm dengan gangguan ASE noise (Paschotta, 2009).....	18
Gambar 2.11. (a) Sinyal yang diterima oleh receiver (b) probabilitas kemunculan bit 0 dan 1 (Agrawal, 2002) .....	19
Gambar 2.12. Bit Error Rate terhadap Q-factor (Agrawal, 2002) .	20
Gambar 2.13. Prinsip kerja BER-Tester (Maxim Integrated, 2004) .....	20
Gambar 2.14. Konfigurasi umum eye diagram (Keiser, 2003).....	22
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian .....	25
Gambar 3.2. BER Tester EXFO FTB-1 Pro.....	27
Gambar 3.3. Set Up Pengukuran receiver sensitivity .....	28
Gambar 3.4. Rancangan simulasi .....	28
Gambar 3.5. Diagram alir pelaksanaan simulasi .....	29
Gambar 4.1. Hasil Pengukuran dengan BER Tester : (a) Setup summary dan (b) Result summary .....	32
Gambar 4.2. Simulasi link fiber optik .....	33
Gambar 4.3. Simulasi komponen transmitter .....	34
Gambar 4.4. Simulasi komponen receiver dan alat ukur .....	35

Gambar 4.5. Spektrum 10 channel transmitter DWDM.	
(a) pada transmitter dan	
(b) setelah melalui 84 km fiber optik .....	36
Gambar 4.6. Grafik SNR pada setiap frekuensi .....	38
Gambar 4.7. Eye diagram pada BER analyzer .....	39
Gambar 4.8. Grafik frekuensi terhadap log of BER .....	40
Gambar 4.9. Hasil simulasi pengaruh atenuasi terhadap BER .....	42
Gambar 4.10. Perbandingan hubungan antara BER dan Q-factor	
secara teoritis dan hasil simulasi .....	43
Gambar 4.11. Simulasi backbone fiber optik dengan	
penambahan DCF.....	45
Gambar 4.12. Grafik hubungan frekuensi terhadap log of BER	
sebelum dan setelah penambahan DCF .....	46
Gambar 4.13. Grafik hubungan frekuensi terhadap log of BER	
dengan ekstrapolasi .....	47
Gambar 4.14. Pengaruh daya transmitter terhadap BER .....	48
Gambar 4.15. Grafik hubungan frekuensi terhadap log of BER	
sebelum dan setelah penambahan daya transmitter	49
Gambar 4.16. Perubahan SNR akibat penambahan DCF .....	51
Gambar 4.17. Perubahan SNR akibat penambahan daya	
transmitter .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi komponen link Lamongan-Kebalen .....	27
Tabel 4.1. Parameter dalam simulasi .....	33
Tabel 4.2. Nilai SNR hasil simulasi .....	37
Tabel 4.3. Hasil simulasi BER .....	40
Tabel 4.4. Hasil pengukuran receiver sensitivity .....	41
Tabel 4.5. Perbandingan parameter SMF dan DCF .....	44
Tabel 4.6. Hasil simulasi BER setelah penambahan DCF .....	45
Tabel 4.7. Hasil simulasi BER setelah penambahan daya transmitter.....	49
Tabel 4.8. Nilai SNR akibat pengaruh penambahan DCF .....	50
Tabel 4.9. Hasil SNR akibat pengaruh penambahan daya transmitter.....	52

Halaman ini sengaja dikosongkan



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan masyarakat akan akses internet terus mendorong perkembangan layanan telekomunikasi, baik jaringan seluler yang bersifat *mobile*, hingga jaringan *wireline* fiber optik untuk segmen pengguna yang bersifat *fixed* seperti perumahan, kampus, *high rise building*, dan *enterprise* (Hantoro & Karyada, 2015). Untuk memenuhi permintaan layanan *triple play*, dibutuhkan sistem komunikasi yang mampu menampung bandwidth yang besar. Solusi yang diterapkan PT Telkom Indonesia untuk permasalahan ini adalah *Fiber To The Home* (FTTH) dengan teknologi *Passive Optical Network* (PON). Hingga tahun 2016, telah ada 4.3 juta pengguna *fixed broadband* dengan 1.6 juta diantaranya adalah pengguna IndiHome. Bahkan, pelanggan *fixed broadband* diproyeksikan tumbuh sebesar 18,3% pertahun dan diperkirakan meningkat hingga 14 juta pelanggan pada tahun 2020 (PT Telkom Indonesia (Persero) Tbk, 2016). Infrastruktur *backbone* fiber optik PT Telkom yang mencapai 106.000 km terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan ini.

*Backbone* fiber optik menjadi infrastruktur yang sangat penting karena menjadi kunci dari transmisi data dan penghubung node akses jaringan. Hingga saat ini, *backbone* jaringan fiber optik telah mampu mengirimkan data dengan bandwidth total 4 Terabit per sekon. Nilai tersebut diperoleh melalui 100 *channel* DWDM dengan bit rate 4 Gb/s pada setiap *channel*-nya (Idachaba, et al., 2014). Sesuai standar ITU-T, bandwidth tersebut akan dibagikan ke ratusan pengguna melalui FTTH berbasis GPON yang memiliki *bit rate* 2.4 Gbps dengan bandwidth rata-rata tiap pelanggan mencapai 80 Mbps (Gillani, et al., 2015). Nilai tersebut diperkirakan terus meningkat seiring berbagai penelitian yang dilakukan pada berbagai komponen komunikasi fiber optik diantaranya penggunaan *raman amplifier* dan *square-root module*

(Kumar, 2014), *Erbium-doped fiber amplifier* (Gillani, et al., 2015), *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (Wchir, et al., 2016), hingga *dispersion compensating fiber* (Kiaee & Seraji, 2016).

Mengingat pentingnya *backbone* jaringan sebagai infrastruktur komunikasi, maka perlu dilakukan desain dan monitoring dengan memperhatikan berbagai hal. *Signal to noise Ratio* (SNR), *Bit Error Rate* (BER), dan *Q-factor* merupakan parameter kunci yang menentukan performa suatu *channel* komunikasi (Kartalopoulos, 2004). Tujuan utama dari suatu transmisi sinyal optik adalah untuk mencapai nilai BER yang diinginkan diantara dua *node* atau titik dalam jaringan. Namun, SNR dan BER merupakan parameter yang kompleks.

Sinyal optik yang dikirim melalui sebuah *backbone* tidak lepas dari atenuasi, dispersi, interferensi dan gangguan lain yang berasal baik dari fiber optik sendiri maupun komponen aktif seperti *transmitter*, *amplifier*, dan *receiver* (Alam, et al., 2014). Nilai SNR yang tinggi memastikan link *backbone* tidak dipengaruhi *amplifier noise* sedangkan BER berkaitan erat dengan kinerja *digital receivers* (Agrawal, 2002). Pada jaringan yang berbeda, nilai SNR dan BER bervariasi akibat perbedaan kecepatan data dan komponen (Gillani, et al., 2015). Namun demikian, nilai parameter SNR dan BER dalam desain sebuah *backbone* harus memenuhi standar yang berlaku. Penelitian yang dilakukan sebelumnya (Gillani, et al., 2015) (Kumar, 2014) juga menunjukkan nilai BER dan SNR yang dipengaruhi oleh panjang fiber optik.

Untuk dapat mengetahui parameter yang mempengaruhi BER dan SNR, simulasi dilakukan menggunakan *software* Optisystem. Beberapa referensi telah menunjukkan kemudahan penggunaan *software* tersebut untuk mendesain dan menganalisa suatu jaringan optik (Yang & Hechao, 2010) (Khadir, et al., 2014) (Yan, et al., 2009). Pada tugas akhir ini, dilakukan pengukuran dan simulasi parameter SNR dan BER pada *backbone* fiber optik antara Sentral Telepon Otomat (STO) Lamongan 1 dan STO Kebalen sehingga dapat diketahui performa jaringan tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang diuraikan sebelumnya, permasalahan yang diperoleh adalah bagaimana menganalisis parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER) dalam *backbone* komunikasi fiber optik ?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan rumusan masalah di atas, tujuan pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

- Melakukan pengukuran BER pada sebuah *backbone* fiber optik
- Membuat simulasi *backbone* terukur dengan software Optisystem
- Menganalisis nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER) hasil simulasi
- Mengetahui pengaruh penambahan *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) dan daya transmitter terhadap SNR dan BER

## 1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini diperlukan beberapa batasan masalah diantaranya :

- Jaringan yang digunakan adalah *backbone* fiber optik segmen STO Lamongan 1 - STO Kebalen milik PT Telkom Indonesia yang merupakan sambungan *point-to-point*
- *Backbone* tersebut menggunakan teknologi DWDM 10 *channel* dan merupakan desain jaringan sesuai standar PT Telkom Indonesia
- Komponen jaringan fiber optik yang dianalisa merupakan komponen yang telah terdaftar dalam kontrak kerja PT Telkom Indonesia
- Jaringan terukur diasumsikan satu arah (*unidirectional*)
- Standar nilai SNR dan BER maksimum menggunakan rekomendasi ITU (*International Telecommunication Union*)

- Pengukuran SNR, BER, dan loss komponen secara langsung hanya dilakukan pada komponen yang memungkinkan, selebihnya digunakan data sekunder
- Simulasi menggunakan *software* Optisystem dan nilai parameter selain yang diatur merupakan nilai *default* dari *software*

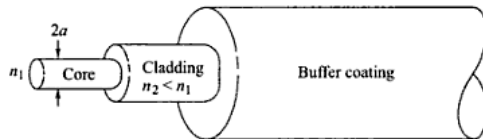
### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah dapat menambah pengetahuan terkait bidang komunikasi fiber optik, khususnya dalam *backbone* jaringan. Penelitian tentang parameter SNR dan BER juga akan memperluas referensi keilmuan di Teknik Fisika ITS khususnya pada bidang minat Rekayasa Fotonika.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

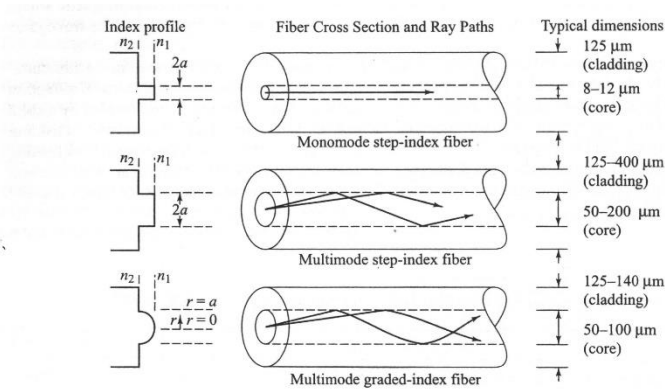
### 2.1 Fiber Optik sebagai Media Komunikasi

Fiber optik adalah pemandu gelombang dielektrik yang bekerja pada frekuensi optik (Keiser, 2010) dan menyalurkan gelombang elektromagnetik dalam bentuk cahaya kearah tegak lurus terhadap sumbunya. Fiber optik umumnya terbuat dari silika ( $\text{SiO}_2$ ), berbentuk silinder dengan bagian inti (*core*), dilapisi dengan *cladding*. Keduanya memiliki indeks bias yang berbeda dengan  $n_{\text{core}} > n_{\text{cladding}}$  untuk mendukung terjadinya pemantulan sempurna (*Total Internal Reflection/TIR*). Struktur fiber optik ditunjukkan oleh gambar 1, dimana  $a$  adalah jari-jari *core*,  $n_1$  adalah indeks bias *core*, dan  $n_2$  adalah indeks bias *cladding*.



Gambar 2.1. Struktur fiber optik (Keiser, 2010)

Perambatan cahaya pada fiber optik dipengaruhi oleh jenis fiber, dimana dibedakan berdasarkan jumlah moda dan indeks profil. Moda adalah lintasan yang dilalui cahaya dalam fiber optik sedangkan indeks profil menunjukkan perubahan indeks bias pada batas antara core dan cladding. Berdasarkan kriteria tersebut, fiber optik dibedakan menjadi *singlemode step index*, *multimode step index*, dan *multimode graded index*. Perbandingannya ditunjukkan oleh gambar 2.2.



Gambar 2.2. Perbandingan antara jenis - jenis fiber optik (Keiser, 2010)

Pada fiber optik *singlemode*, cahaya diasumsikan langsung melewati garis tengah *core* secara lurus. Sinar cahaya yang merambat secara demikian disebut dengan *meridional rays* (Zanger & Zanger, 1991). Pada kenyataannya, pada sebagian besar cahaya merambat tidak di garis tengah fiber dan mengalami TIR dengan berbagai sudut (*skew rays*). Selain itu, tidak semua cahaya yang diarahkan ke fiber dapat dipandu. Terdapat parameter sudut penerimaan (*acceptance angle*,  $\theta_0$ ) dan *numerical aperture* (NA). (Keiser, 2010) Keduanya dinyatakan dalam persamaan (1) dengan  $n$  adalah indeks bias medium.

$$NA = n \sin \theta_{0,\max} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (\text{pers.1})$$

Jumlah moda yang merambat melalui fiber optik dapat ditentukan dengan persamaan (2)

$$M = \frac{2\pi^2 a^2}{\lambda^2} (n_1^2 - n_2^2) = \frac{V^2}{2} \quad (\text{pers.2})$$

Dengan parameter  $V$  adalah suatu nilai yang berhubungan dengan kondisi cutoff terjadinya moda. Pada fiber optik *singlemode*, nilai parameter  $V \leq 2.405$  (Keiser, 2010)

Aplikasi fiber optik tersebar di berbagai bidang. Secara utama memang digunakan dalam komunikasi, namun aplikasi dalam bidang medis dan industri sangatlah luas (Zanger & Zanger, 1991).

Pada komunikasi, selain digunakan dalam komunikasi jarak jauh, fiber optik diaplikasikan di *Local Area Network* (LAN), *Community Area Television* (CATV), dan *Closed Circuit Television* (CCTV). Dalam bidang industri, terdapat berbagai sensor fiber optik berbasis intensitas, fasa, dan *bending* untuk mengukur suhu, tekanan, getaran, atau perpindahan. Dalam bidang medis, peralatan endoskopi menjadi salah satu aplikasi fiber yang paling dominan digunakan.

Teknologi komunikasi dengan media fiber optik mulai dikembangkan setelah penemuan laser pada awal 1960 (Keiser, 2003). Para ilmuwan mulai menyelidiki spektrum optik sebagai perluasan spektrum radio atau gelombang mikro yang digunakan dalam komunikasi. Jaringan komunikasi menggunakan media fiber optik termasuk kedalam kategori *guided optical communication*, dimana cahaya berada didalam media pemandu. Jenis ini berlawanan dengan *unguided optical communication*, dimana sinyal cahaya dilepas dan dibiarkan merambat ke segala arah. (Agrawal, 2002)

Sistem komunikasi fiber optik memiliki beberapa kelebihan diantaranya :

- Komunikasi jarak jauh

Kabel fiber optik memiliki *transmission loss* yang lebih rendah dibandingkan dengan kabel tembaga. Hal ini menyebabkan data dapat menempuh jarak lebih jauh tanpa membutuhkan penguat sinyal, sehingga sebuah jaringan dapat dibuat dengan lebih sederhana dan komponen yang lebih sedikit. Kemampuan fiber optik untuk transmisi juga memanfaatkan kecepatan cahaya yang mencapai  $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ . Kecepatan cahaya menghubungkan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan frekuensi ( $f$ ) melalui persamaan

$$c = \lambda \cdot f \quad (\text{pers.3})$$

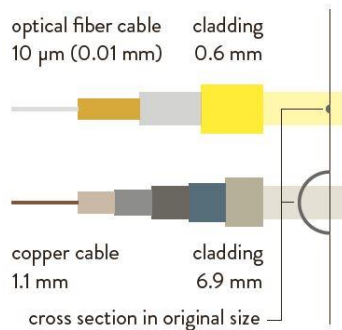
- Kapasitas lebih besar

Fiber optik memiliki bandwidth yang lebar dibandingkan dengan media komunikasi yang lain. Untuk mengirim sejumlah data yang sama, dibutuhkan jalur lebih sedikit bila menggunakan fiber optik. Kelebihan ini membuat fiber optik

dipilih sebagai jalur *backbone* dari media transmisi lain. Sebagai contoh, integrasi sistem fiber optik - wireless. (Lim, et al., 2016)

- Ukuran kecil dan ringan

Selain memudahkan dalam mobilitas saat instalasi, dimensi fiber optik memungkinkan untuk diletakkan pada tempat-tempat kritis misalnya di pesawat terbang. Gambar berikut menunjukkan perbandingan ukuran fiber optik terhadap kabel tembaga.



Gambar 2.3. Perbandingan ukuran fiber optik terhadap kabel tembaga (*Spectaris German Hightech Industry Association & SPIE , 2016*)

- Tidak dipengaruhi medan listrik

Fiber optik dibuat dari bahan dielektrik berupa silika, sehingga tidak dipengaruhi oleh medan listrik. Hal ini merupakan keuntungan karena interferensi akibat adanya peralatan listrik disekitar dapat menyebabkan gangguan sinyal komunikasi pada media transmisi lain.

- Sinyal lebih aman

Fiber optik menjamin keamanan data yang ditransmisikan karena sinyal cahaya terlindungi didalam fiber oleh *coating* dan tidak dapat diretas dengan mudah. Beberapa sektor yang mengedepankan keamanan data menggunakan fiber optik dalam operasinya, seperti *finance*, militer, dan pemerintahan.



Selain kelebihan yang telah disebutkan, fiber optik memiliki kelemahan yaitu harganya yang mahal dan komponen yang masih dalam proses pengembangan. Disamping itu, fiber optik memiliki berbagai jenis loss yang harus diperhatikan saat pemilihan dan pemasangannya untuk komunikasi. Berikut adalah berbagai penyebab degradasi sinyal pada fiber optik :

- Atenuasi

Atenuasi adalah penurunan daya pada sinyal cahaya yang dipandu fiber optik. Besarnya atenuasi menentukan panjang maksimum transmisi dari suatu jaringan. Saat cahaya dipandu dalam fiber optik, daya cahaya berkurang secara eksponensial terhadap jarak. Jika daya sinyal pada posisi awal adalah  $P_{(0)}$  dan setelah menempuh jarak tertentu adalah  $P_{(z)}$ , maka (Keiser, 2010)

$$P(z) = P(0)e^{-\alpha_p z} \quad (\text{pers.4})$$

dimana 
$$\alpha_p = \frac{1}{z} \ln \left[ \frac{P(0)}{P(z)} \right] \quad (\text{pers.5})$$

adalah koefisien atenuasi ( $\text{km}^{-1}$ ). Untuk kemudahan perhitungan,  $\alpha_p$  dinyatakan dalam dB/km melalui relasi

$$\alpha \left( \frac{\text{dB}}{\text{km}} \right) = \frac{10}{z} \log \left[ \frac{P(0)}{P(z)} \right] = 4.343 \alpha_p (\text{km}^{-1}) \quad (\text{pers.6})$$

Tidak hanya pada fiber optik, satuan desibel digunakan untuk menunjukkan penurunan daya pada berbagai komponen optik. Definisi dari satuan desibel (dB) adalah rasio logaritmik dari daya pada dua posisi.

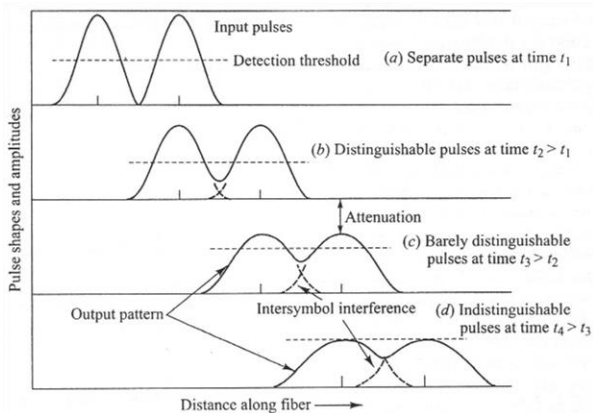
$$\text{power ratio (dB)} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{pers.7})$$

jika dB menunjukkan perbandingan dengan satuan daya lain, maka untuk menunjukkan nilai absolut power, digunakan satuan dBm.

$$\text{power level (dBm)} = 10 \log \frac{P (\text{mW})}{1 (\text{mW})} \quad (\text{pers.8})$$

Penyebab atenuasi pada fiber optik adalah :

- Absorpsi  
Absorpsi adalah penyerapan daya cahaya oleh material fiber optik. Hal ini disebabkan oleh adanya kecacatan pada atom silika atau adanya atom impuritas. Absorpsi terjadi pada penjang gelombang tertentu dan berbeda pada tiap jenis material fiber optik
- *Scattering* / hamburan  
*Scattering loss* disebabkan oleh perbedaan kerapatan material, ketidakseragaman komposisi, atau kecacatan dimana cahaya dihamburkan ke segala arah oleh material fiber optik
- *Bending losses*  
*Bending* atau lekukan pada fiber optik dapat menyebabkan loss. *Macrobending* adalah pembengkokan fiber optik dengan radius yang panjang bila dibandingkan dengan radius fiber optik. *Microbending* adalah pembengkokan-pembengkokan kecil pada fiber optik akibat ketidakseragaman dalam pembentukan fiber atau akibat adanya tekanan yang tidak seragam pada saat pengkabelan. Diketahui bahwa hubungan antara bending loss dan jumlah lilitan adalah linier dan hubungan antara bending loss dan bending radius berdasarkan hasil pengukuran adalah eksponensial (Maharani & Kusumawardhani, 2009)
- *Core and cladding losses*  
Terjadi akibat perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding*, dan ketidaksempurnaan peristiwa TIR
- Distorsi  
Distorsi adalah peristiwa ketika dua buah pulsa sinyal cahaya yang berurutan bertumpuk (*overlap*) sehingga detektor tidak dapat membedakan dua pulsa tersebut. Gambar 2.4 menunjukkan bagaimana terjadinya distorsi.



Gambar 2.4. Proses terjadinya distorsi (Keiser, 2010)

Penyebab distorsi pada fiber optik adalah :

- Dispersi Intermodal

Terjadi pada fiber optik multimode, dimana setiap moda memiliki group velocity yang berbeda. Hanya terjadi pada fiber optik multimode

- Dispersi Intramodal / kromatik

Dapat disebabkan oleh material, karena nilai indeks bias material berbeda untuk setiap panjang gelombang dan oleh dispersi *waveguide*.

Efek dari dispersi ini adalah terjadinya pelebaran pulsa. Pelebaran pulsa akibat dispersi material dinyatakan dengan :

$$\sigma_{mat} = \sigma_{\lambda} \cdot L \cdot |D_{mat}(\lambda)| \quad (\text{pers.9})$$

Dengan :

$\sigma_{mat}$  = pelebaran pulsa (ps)

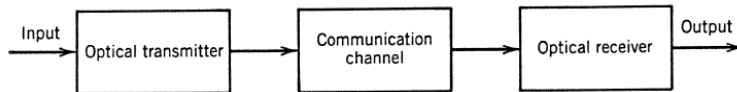
$\sigma_{\lambda}$  = lebar spektral sumber cahaya (nm)

$L$  = panjang fiber optik (km)

$D_{mat}(\lambda)$  = dispersi material dalam fungsi panjang gelombang (ps/(nm.km))

## 2.2 Komponen Sistem Komunikasi Fiber Optik

Dalam membentuk suatu sistem komunikasi fiber optik, diperlukan beberapa divais yang dapat dikategorikan dalam komponen aktif dan pasif (Keiser, 2003). Komponen aktif adalah divais yang membutuhkan sumber listrik untuk beroperasi. Contohnya adalah laser, *amplifier*, modulator, *attenuator*, dan *switch*. Sedangkan komponen pasif adalah divais yang tidak membutuhkan sumber energi lain dan hanya bekerja menyalurkan sinyal cahaya. Contohnya adalah fiber optik, konektor, *splices*, filter optik, dan *coupler*.



Gambar 2.5. Susunan dasar komunikasi optik (Agrawal, 2002)

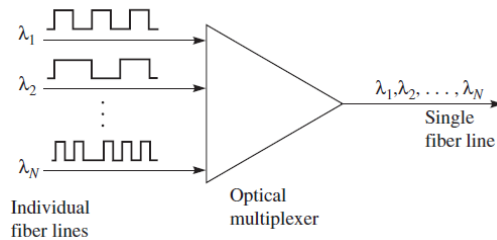
Struktur dasar sistem komunikasi fiber optik ditunjukkan pada gambar 2.5. Terdapat tiga aspek penting yaitu *transmitter*, *communication channel*, dan *optical receiver*. Masing-masing akan dijelaskan dalam uraian berikut :

- *Optical Transmitter*

*Transmitter* terdiri atas beberapa bagian yaitu sumber cahaya, *multiplexer*, modulator, *coupler*, dan rangkaian elektronik pembangkit laser. Sumber cahaya yang digunakan dalam bidang komunikasi adalah laser dioda dan LED. Keduanya dibedakan atas mekanisme pembangkitan cahaya yang dialami. Pada laser dioda, terjadi emisi terstimulasi sedangkan pada LED, pembangkitan cahaya terjadi akibat emisi spontan dari hasil rekombinasi elektron pada semikonduktor tipe n dan p. Terdapat dua tipe LED, yaitu *surface emitter* dan *edge emitter*. Sementara itu 4 jenis laser yang sering digunakan dalam komunikasi fiber optik adalah Fabry-Perot (FP) laser, *distributed feedback* (DFB) laser,

*tunable laser*, dan *vertical cavity surface emitting laser* (VCSEL) (Keiser, 2003).

Multiplexer adalah suatu komponen yang memungkinkan peningkatan kapasitas fiber optik melalui sistem TDM (*Time Division Multiplexing*) dan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Pada TDM, informasi dari banyak sumber dikirimkan berurutan ke satu tujuan, sedangkan pada WDM, sinyal tidak dikirimkan satu persatu melainkan tiap sumber memiliki panjang gelombang yang berbeda, sehingga dapat dikirimkan bersamaan dalam satu fiber. Hal ini menyebabkan kapasitas pada jaringan fiber optik WDM jauh lebih besar. (Keiser, 2010). Konsep WDM ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Konsep dasar WDM (Keiser, 2010)

Komponen *transmitter* berikutnya adalah modulator. Secara fisik modulator dapat dibedakan menjadi modulator internal dan eksternal. Contoh modulator eksternal adalah *Mach-Zehnder* dan *electroabsorption* modulator (Djordjevic, et al., 2010). Sinyal elektrik diubah kedalam sinyal optik melalui proses modulasi. Modulasi adalah bagaimana sebuah sinyal informasi diterjemahkan ke sinyal lain yang bekerja sebagai pembawa (*carrier*). Cahaya yang telah dimodulasi disalurkan kedalam fiber optik (disebut juga *power launching*). Modulasi dalam gelombang cahaya optik dapat dilakukan dengan berbagai format, mengikuti parameter dari gelombang yang dipilih. Sebagai contoh suatu gelombang cahaya monokromatis digunakan sebagai carrier dengan persamaan :

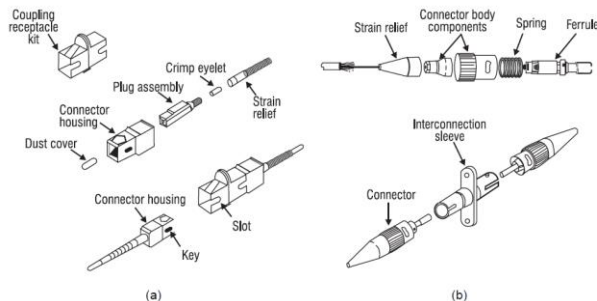
$$E(t) = p A \cos(\omega t + \varphi) \quad (\text{pers.10})$$

Dimana  $A$ ,  $\omega$ , dan  $\phi$  berturut-turut adalah amplitudo, frekuensi, dan fasa gelombang serta  $p$  adalah orientasi polarisasi. Jika informasi yang dibawa berupa sinyal kontinu, modulasi yang dapat dilakukan adalah *amplitude modulation* (AM), *frequency modulation* (FM), *phase modulation* (PM), dan *polarization modulation* (PolM). Bila sinyal cahaya menggunakan sinyal digital, maka modulasi yang dapat digunakan adalah *amplitude-shift keying* (ASK), *frequency-shift keying* (FSK), *phase-shift keying* (PSK), dan *polarization-shift keying* (PolSK) (Djordjevic, et al., 2010).

- *Communication Channel*

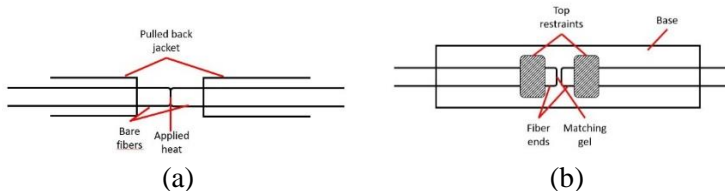
Sebuah jaringan tidak mungkin hanya terdiri dari sebuah kabel lurus melainkan terdapat sambungan ataupun percabangan dari fiber optik. Beberapa jenis sambungan pada fiber optik adalah *coupler*, konektor, dan *splice*. *Coupler* adalah lensa mikro pada ujung fiber optik yang berfungsi memfokuskan cahaya dari *transmitter* agar terpandu dalam fiber secara maksimal. *Coupler* juga ada di ujung akhir fiber untuk memfokuskan cahaya agar sepenuhnya mengenai *photodetector*.

*Connector* / konektor adalah sambungan antara ujung fiber optik dengan ujung lain yang sifatnya bisa dipasang dan dilepas berulang kali. Ada beberapa tipe konektor, dua diantaranya adalah *Snap-in connector* (SC) dan *Twist-on-single fiber connector* (ST) ditunjukkan gambar berikut :



Gambar 2.7. Konektor SC (a) dan ST (b) (Massa, 2000)

Berbeda dengan konektor, sambungan berupa *splice* sebagian bersifat permanen. Sambungan splice adalah hubungan langsung antar dua ujung fiber yang diperoleh melalui *fusion* atau *mechanical splicing* (Keiser, 2003). Pada metode *fusion splicing*, ujung fiber optik dipanaskan hingga lebur dan disambungkan secara permanen. Pada *mechanical splicing*, ujung fiber ditempelkan satu sama lain dan diikat dengan *clamp* atau tempat khusus.



Gambar 2.8. *Mechanical dan fusion splicing* (Keiser, 2010)

- *Receiver*

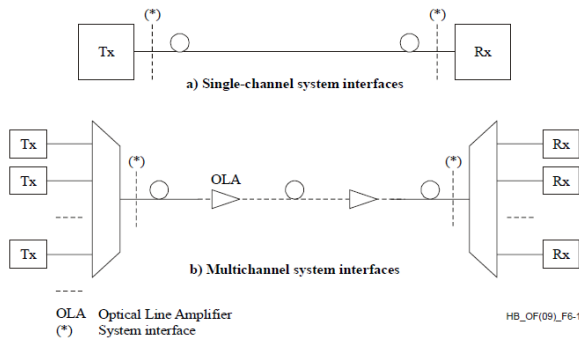
*Optical Receiver* berfungsi untuk menerima sinyal cahaya yang disalurkan fiber optik lalu merubahnya kembali kedalam bentuk sinyal elektrik. *Receiver* terdiri dari beberapa komponen yaitu *coupler*, untuk memfokuskan sinyal yang diterima menuju *photodetector*, *photodetector* sebagai penerima sinyal, dan demodulator untuk mengubah sinyal kembali ke sinyal elektronik. Beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan photodetector adalah sensitivitas tinggi pada panjang gelombang cahaya yang digunakan pada jaringan fiber optik, *noise* kecil, waktu respon cepat, tidak sensitif terhadap temperatur, kompatibel terhadap ukuran fiber optik (Keiser, 2010). Dua jenis photodetector yang memenuhi syarat tersebut adalah *PIN Photodiode* dan *Avalanche photodiode* (APD).

### 2.3 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

*Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) merupakan suatu teknik komunikasi *multichannel*, yaitu beberapa *channel* optik dengan panjang gelombang atau frekuensi berbeda

berada dalam satu kabel fiber optik (International Telecommunication Union, 2009). Seperti pada gambar 2.9, pada sistem *single-channel* hanya terdapat satu pengirim (*transmitter*/Tx) dan satu penerima (*receiver*/Rx) sinyal sedangkan sistem *multichannel* memiliki beberapa pengirim dan penerima sekaligus. Kerapatan frekuensi (*spacing*) merupakan hal yang membedakan DWDM terhadap jenis WDM yang lain. Berdasarkan standar ITU-T G.671 sistem WDM dibagi menjadi 3 :

- Coarse WDM*. Menggunakan *spacing* antar *channel* antara 1000 GHz (8 nm) dan 50 nm.
- Dense WDM*. Memiliki *spacing* kurang dari 1000 GHz
- Wide WDM*. Memiliki *spacing* sangat lebar yaitu lebih dari 50 nm.



Gambar 2.9. Sistem *single-channel* dan *multichannel* (International Telecommunication Union, 2009)

Terdapat 4 jenis *spacing* yang diaplikasikan untuk DWDM, yaitu 12.5 GHz, 25 GHz, 50 GHz, dan 100 GHz. Untuk memperoleh efek atenuasi paling rendah, digunakan frekuensi pusat 193.1 THz (1552 nm) untuk *spacing* 100 GHz. DWDM disebut sebagai generasi kelima dari sistem komunikasi optik merupakan suatu teknologi terbaru yang saat ini telah mencakup jaringan dengan bandwidth total 4 Terabit per sekon. Nilai tersebut diperoleh melalui 100 *channel* DWDM dengan bit rate 4 Gb/s pada setiap *channel*nya (Idachaba, et al., 2014).



## 2.4 Signal to Noise Ratio (SNR)

Pada semua jenis sistem transmisi data, *signal to noise ratio* (SNR) merupakan parameter yang harus diperhatikan. Dalam bidang sains dan *engineering*, SNR digunakan untuk menunjukkan seberapa banyak *noise* mengganggu sinyal yang ditransmisikan. Dengan kata lain, SNR membandingkan daya sinyal yang diinginkan terhadap *background noise*. SNR tidak dipengaruhi oleh format data, bentuk pulsa, atau bandwidth filter melainkan hanya bergantung pada daya rata-rata sinyal dan *noise*.

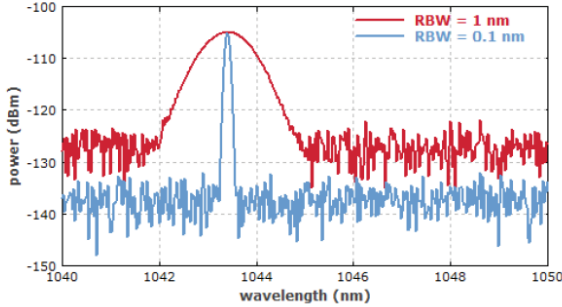
Pada komunikasi fiber optik, terdapat banyak penyebab *noise*. Namun karena nilainya yang kecil, sebagian besar jenis *noise* dapat diabaikan (Alam, et al., 2014). *Noise* pada komunikasi optik dibedakan kedalam kategori *noise* ekstrinsik dan intrinsik (Kartalopoulos, 2004). *Noise* ekstrinsik adalah adanya frekuensi dari luar yang mengganggu sinyal diantaranya interferensi elektromagnetik, *amplifier noise*, *crosstalk*, *four-wave mixing* (Chen, et al., 2015), dan *noise* detektor. Sedangkan *noise* intrinsik disebabkan fluktuasi energi oleh proton atau elektron akibat pengaruh temperatur, non-linieritas dari medium transmisi, atau kontaminan dalam material. Contohnya adalah *thermal noise*, *shot noise*, dan *flicker noise*. *Noise* dominan pada komunikasi fiber optik adalah *amplifier noise* (*amplified spontaneous emission* / ASE) dan *thermal noise* pada *receiver*.

SNR dapat juga disebut OSNR (*Optical Signal to noise Ratio*). Untuk mengukur SNR, diperlukan instrumen *Optical Spectrum Analyser* (OSA). Nilai OSNR dinyatakan dalam desibel dan tidak dipengaruhi oleh format data, bentuk pulsa, atau bandwidth sistem, melainkan hanya daya sinyal dan *noise* yang terbaca di OSA (Keiser, 2010), yaitu :

$$SNR = 10 \log \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \quad (\text{pers.11})$$

Gambar 2.10 adalah contoh grafik hasil instrumen OSA dimana sinyal optik memiliki *noise*. Sinyal optik pada 1043.4 nm memiliki *amplified spontaneous emission* (ASE) *noise* dimana *noise power* berbanding lurus terhadap *resolution bandwidth*

(RBW), yaitu skala resolusi bandwidth saat pengukuran. RBW lebih kecil akan menurunkan *noise power* tanpa mempengaruhi sinyal (Paschotta, 2009).



Gambar 2.10. Sinyal optik pada 1043.4 nm dengan gangguan ASE *noise* (Paschotta, 2009)

SNR dapat pula dinyatakan dalam variabel *Q-factor*. *Q-factor* merepresentasikan optical SNR untuk komunikasi optik biner/digital dan memudahkan analisis performa sistem (Agrawal, 2002). Persamaan 12 digunakan untuk dapat memberikan hubungan antara OSNR dan BER.

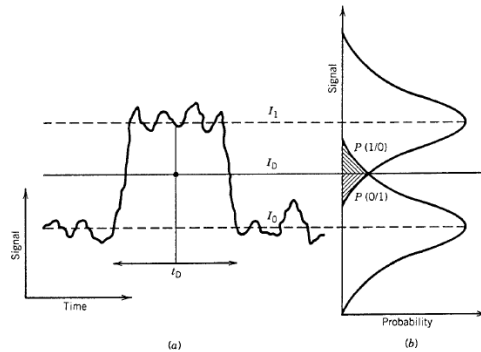
$$Q = \frac{2\sqrt{2} \text{ OSNR}}{1 + \sqrt{1 + 4 \text{ OSNR}}} \quad (\text{pers.12})$$

## 2.5 Bit Error Rate (BER)

Sinyal optik yang dikirimkan melalui jaringan FTTH berupa pulsa-pulsa cahaya yang masing-masing membawa satu bit data (Alam, et al., 2014). Tidak semua bit dapat terkirim sempurna. BER didefinisikan sebagai jumlah terjadinya error tiap jumlah bit data terkirim (Zanger & Zanger, 1991) pada suatu sistem digital. Apabila jumlah bit error adalah  $N_E$  dan jumlah bit total terkirim adalah  $N_T$  maka (Keiser, 2010)

$$\text{BER} = \frac{N_E}{N_T} \quad (\text{pers.13})$$

Pada jaringan komunikasi optik secara umum, nilai BER yang harus dipenuhi adalah  $BER\ 10^{-6} - 10^{-12}$ . Artinya, tiap  $10^9$  hingga  $10^{12}$  bit data yang dikirim, error yang terjadi hanyalah pada 1 bit. BER juga disebut dengan *error probability* ( $P_e$ ), atau probabilitas munculnya error dalam transmisi data. Probabilitas tersebut dapat dijelaskan melalui gambar 10. Setiap bit yang diterima oleh *receiver* memiliki probabilitas berupa bit 0 dan 1 secara seimbang, namun ada daerah terarsir yang merupakan probabilitas timbulnya error. Bit tertentu memiliki amplitudo sinyal yang terlalu dekat dengan threshold sehingga tidak dapat dibedakan nilainya dengan benar. (Agrawal, 2002)



Gambar 2.11. (a) Sinyal yang diterima oleh *receiver* (b) probabilitas kemunculan bit 0 dan 1 (Agrawal, 2002)

Nilai BER dapat dinyatakan dalam *Q-factor* melalui persamaan berikut (Keiser, 2010).

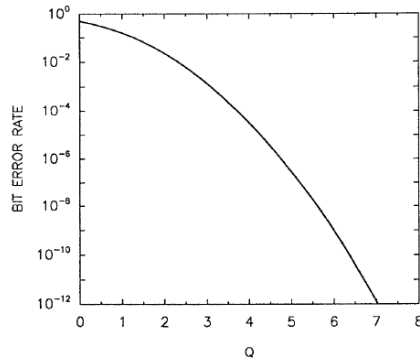
$$BER = P_e(Q) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-Q^2/2}}{Q} \quad (\text{pers.14})$$

Dengan nilai  $Q$  adalah

$$Q = \frac{b_{on} - b_{off}}{\sigma_{on} + \sigma_{off}} \quad (\text{pers.15})$$

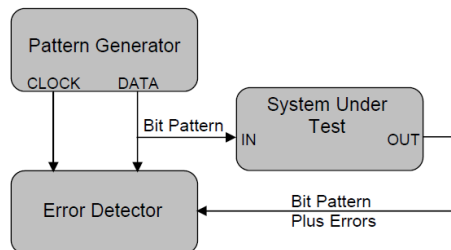
$b$  dan  $\sigma$  berturut-turut adalah rata-rata dan varians kemunculan bit 1 (on) dan 0 (off). Nilai BER pada persamaan 15 merupakan estimasi dari *error function* [ $\text{erfc}(Q/\sqrt{2})$ ] yang akurat pada nilai  $Q > 3$ . Pada gambar 2.12, ditunjukkan hubungan antara BER dan

*Q-factor*, dimana BER  $10^{-9}$  bersesuaian dengan  $Q = 6$ . Selain grafik dibawah, BER atau SNR digambarkan dalam fungsi jarak fiber optik. Semakin jauh jarak transmisi fiber optik, SNR semakin menurun dan tentunya meningkatkan *bit error rate* (Gillani, et al., 2015).



Gambar 2.12. Bit Error Rate terhadap *Q-factor* (Agrawal, 2002)

BER diukur menggunakan instrumen BER Tester (BERT). BERT memiliki dua komponen utama, yaitu *pattern generator* dan *error detector* (Maxim Integrated, 2004). *Pattern generator* mentransmisikan *test pattern* kedalam sistem yang diuji. *Test pattern* ini terdiri dari bit-bit *pseudorandom* yang juga dikirimkan ke *error detector*. *Error detector* kemudian membandingkan bit yang telah melewati sistem dan bit yang diterima langsung dari *pattern generator*. Sinyal *clock* digunakan untuk sinkronisasi. Perbedaan nilai bit dihitung sebagai *bit error*.



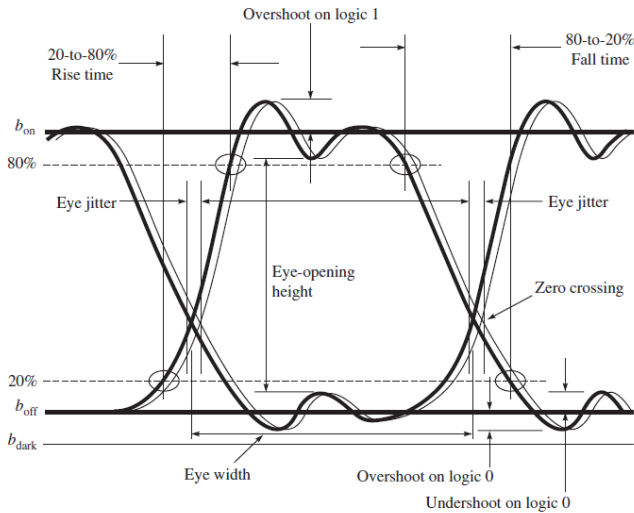
Gambar 2.13. Prinsip kerja BER-Tester (Maxim Integrated, 2004)

Karena BER merupakan parameter statistik, nilainya dipengaruhi oleh cara pengukuran, bit rate pada link, dan penyebab error. Pada link dengan error berupa Gaussian *noise*, dibutuhkan pengukuran hingga sekitar 100 error untuk memperoleh hasil yang valid secara statistik. Waktu lebih lama dibutuhkan untuk pengukuran *noise* yang disebabkan burst *noise*. (Keiser, 2010) Sebagai contoh, pada link dengan kecepatan 10 Gbps dengan BER  $10^{-12}$ , satu bit error terjadi setiap 100 sekon. Waktu total pengukuran dapat mencapai 10000 detik atau sekitar 2.8 jam. Perhitungan ini hanya estimasi tanpa mempertimbangkan *probability density function* dan *convidence level*. Perbedaan distribusi statistik (Gaussian, Binomial, atau Poisson) juga mempengaruhi kecepatan perhitungan BER. (Almeida, et al., 2014)

Salah satu cara kualitatif untuk mengetahui kualitas dari sinyal yang diterima oleh *receiver* adalah *Eye diagram*. Diagram ini menunjukkan efek distorsi pada sinyal cahaya yang ditampilkan dalam domain waktu. Beberapa karakteristik sinyal yang dapat dilihat dari eye diagram adalah *jitter*, *rise time*, *fall time*, *ringing*, *side-tones*, *asymmetry*, *overshoot*, *undershoot*, kemiringan amplitudo, dan *variability*. (Kartalopoulos, 2004) *Eye diagram* diperoleh dari display instrumen pengukuran BER dan mampu untuk memperkirakan BER, SNR, serta *Q-factor* secara statistik. Gambar 2.14 menunjukkan konfigurasi umum dan parameter dasar eye diagram.

Informasi tentang performa sistem dapat diperoleh dengan mengamati *eye diagram*, diantaranya adalah (Keiser, 2003) :

- *eye width* adalah interval waktu dimana sinyal yang diterima *receiver* tidak mengalami error akibat interferensi pulsa lain
- *eye-opening height* menunjukkan keterpisahan sinyal 0 dan 1
- *overshoot* menunjukkan adanya *noise*
- *eye jitter* menunjukkan distorsi pada fiber optik



Gambar 2.14. Konfigurasi umum *eye diagram* (Keiser, 2003)

## 2.6 Dispersion Compensating Fiber (DCF)

Untuk meningkatkan performa suatu sistem DWDM, khususnya yang memiliki jarak transmisi cukup jauh ( $>20$  km), perlu diperhatikan beberapa hal, salah satunya adalah faktor dispersi. Dispersi dapat menyebabkan pelebaran pulsa dan menurunnya *peak power* yang berujung pada meningkatnya *bit error rate* (Kaur, et al., 2015). Dispersi membatasi kapasitas dari sistem komunikasi karena mengurangi *effective bandwidth* sekaligus menaikkan BER akibat adanya *intersymbol interference*. Cara paling sederhana untuk mengurangi efek dispersi adalah dengan memberikan *first-order dispersion management method*, yaitu *dispersion compensating fiber* (DCF). DCF merupakan fiber optik yang memiliki nilai dispersi negatif sehingga keberadaannya dapat mengeliminasi dispersi yang dihasilkan sepanjang transmisi fiber optik. Dispersi residual yang tersisa dari DCF dapat diatasi kemudian oleh *tunable dispersion compensator* (Agrawal, 2002),

yang dapat diatur untuk bekerja spesifik pada panjang gelombang tertentu.

Selain DCF, dikenal pula beberapa metode lain untuk mengurangi dispersi, diantaranya adalah *feed forward equalizer* (FFE) dan *decision feedback equalizers* (DFE) yang merupakan sistem *electronic equalization* (Rout, et al., 2015). Contoh metode lain adalah *digital signal processing* (DSP), penambahan *chirped fiber bragg gratings* (FBG), dan *high-order mode* (HOM) fiber (Kaur, et al., 2015). Namun DCF masih menjadi pilihan karena stabil, bekerja pada spektrum yang luas, tidak dipengaruhi oleh temperatur, dan memiliki bandwidth lebar. DCF cocok digunakan bersama dengan fiber optik singlemode untuk memenuhi kebutuhan komunikasi jarak jauh.

Dalam mengaplikasikan DCF dikenal tiga metode, yaitu *pre-*, *post-*, dan *symmetrical compensation* (Khadir, et al., 2014). Masing-masing menyatakan posisi DCF terhadap fiber optik singlemode. Skema *symmetrical compensation* yaitu DCF diletakkan sebelum dan sesudah fiber optik utama. Panjang total DCF dibagi menjadi 2 sama panjang untuk menghasilkan gabungan efek *pre* dan *post compensation*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

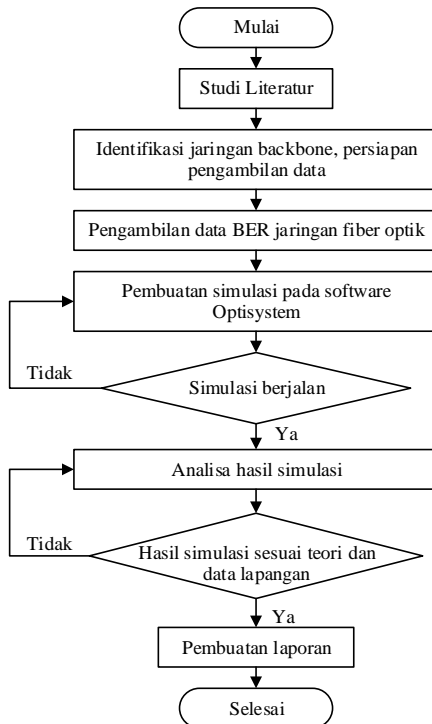


### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir. Metodologi yang digunakan terdiri dari beberapa tahap hingga menghasilkan analisa data nilai BER dan SNR dari *backbone* fiber optik.

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan tugas akhir digambarkan dalam diagram alir berikut :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Langkah awal pelaksanaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur. Studi literatur meliputi pemahaman konsep tentang tugas akhir yang akan dikerjakan mulai dari review jurnal pendukung sampai pengumpulan data yang dibutuhkan untuk menunjang pengerjaan. Studi dilakukan untuk mengetahui dasar sistem kerja jaringan komunikasi fiber optik, serta langkah analisisnya. Pencarian referensi tentang langkah-langkah simulasi yang dilakukan dalam *software* juga diperlukan.

Langkah yang kedua pada proses pengerjaan tugas akhir ini adalah identifikasi jaringan *backbone* dan persiapan pengambilan data. Identifikasi dilakukan untuk mengetahui komponen yang ada dalam *backbone* beserta spesifikasinya. Setelah mengidentifikasi objek yang akan diukur, pengambilan data dilakukan.

Tahap utama dalam pelaksanaan tugas akhir adalah pembuatan simulasi menggunakan *software* Optisystem. Hasil simulasi ini dianalisis untuk membandingkan parameter antara desain (hasil simulasi) dengan kondisi sesungguhnya (hasil pengukuran) pada jaringan *backbone* terpasang. Analisis juga meliputi apakah *backbone* yang terpasang sudah memenuhi standar yang ditetapkan PT Telkom Indonesia dan ITU (*International Telecommunication Union*). Beberapa upaya untuk meningkatkan nilai SNR dan BER juga dilakukan. Setelah analisis selesai, dapat dilakukan pengambilan kesimpulan tugas akhir.

### 3.2 Pengambilan Data BER Jaringan Fiber Optik

Langkah ketiga dalam pengerjaan tugas akhir adalah pengambilan data. Pengambilan data dilakukan di *data center* PT Telkom Indonesia divisi regional V. Pengukuran dilakukan terhadap jaringan *backbone* pulau Jawa yaitu link Jatinegara-Kebalen pada 29 Maret 2017. Segmen yang diambil adalah segmen STO Lamongan 1 - STO Kebalen yaitu sambungan fiber optik sepanjang 84 km berteknologi DWDM 10 channel. Parameter yang diukur adalah BER dan *received power* dari *backbone* fiber optik berkapasitas 100 Gbps.

Berikut adalah spesifikasi dari komponen dalam link Lamongan-Kebalen :

Tabel 3.1. Spesifikasi komponen *link* Lamongan-Kebalen

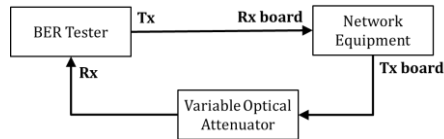
Komponen		Spesifikasi
<i>Optical Transport Network (OTN) Platform</i>		Huawei Optix OSN 8800 T32
	<i>Bit Rate</i>	10 Gbps, 40 Gbps, atau 100 Gbps
	<i>Wavelength range</i>	192.1 - 196.05 THz (Band-C, ITU-T G.694.1)
	<i>Bit rate maksimum tiap channel</i>	100 G (OTU4)
	Fiber interface	G.652, G.653, G.654, G.655
Fiber optik		Voksel G.655C
	Atenuasi maksimum	0.3 dB/km (estimasi termasuk konektor dan <i>splice loss</i> )
	Dispersi kromatik	18 Ps/(nm.km)
	<i>Dispersion slope</i>	0.095 Ps/(nm <sup>2</sup> .km)

Pengukuran BER dilakukan menggunakan *Bit Error Rate Tester* (BERT). Instrumen BERT dapat melakukan pengukuran BER dengan beberapa jenis skema bit *pseudorandom* serta dalam waktu tertentu yang sebelumnya dapat ditentukan melalui metode statistik. Alat ukur yang digunakan adalah BERT *EXFO FTB-1 Pro NetBlazer series* dengan modul FTB-870V2. Dalam persyaratan uji terima PT Telkom Indonesia, nilai BER yang memenuhi nilai *pass* adalah  $10^{-23}$



Gambar 3.2. BER Tester EXFO FTB-1 Pro

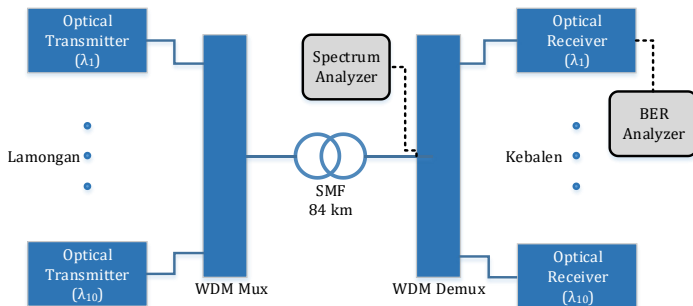
Selain mengukur nilai BER secara normal, pengukuran BER terkait *receiver sensitivity* juga dilakukan. *Receiver sensitivity* didefinisikan sebagai daya optik minimal yang diterima *receiver* untuk menjaga BER pada nilai yang diharapkan. Redaman terukur merupakan redaman maksimum pada *receiver* dimana nilai BER naik dratis hingga diatas standar maksimum yaitu  $10^{-6}$ . Pengukuran ini berguna untuk mengetahui kualitas *backbone*, terutama *port* dan juga mengecek fungsi alarm pada *backbone* yang baru dipasang. Gambar berikut menunjukkan skema pengukuran yang dilakukan.



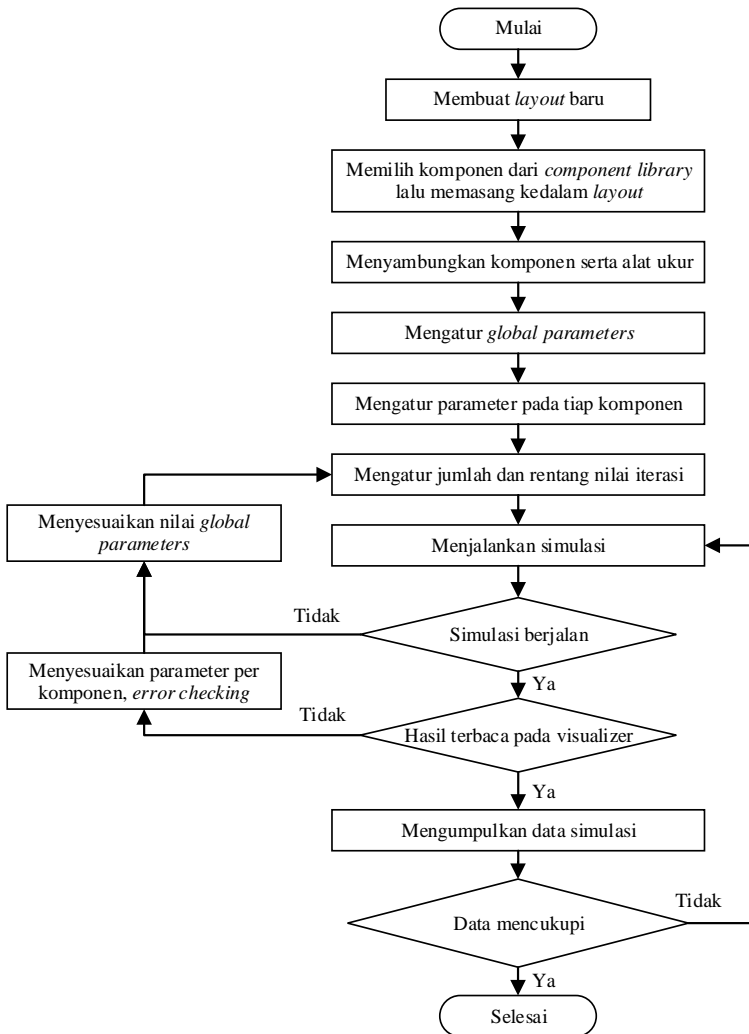
Gambar 3.3. Set Up Pengukuran *receiver sensitivity*

### 3.3 Prosedur Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan *software* Optisystem. Simulasi bertujuan untuk mengetahui karakteristik jaringan yang tidak dapat terukur langsung. Dalam simulasi, digunakan komponen yang sama dengan keadaan yang sebenarnya, dengan parameter yang telah terdaftar di tabel 3.1. Adapun rancangan simulasi ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Rancangan simulasi



Gambar 3.5. Diagram alir pelaksanaan simulasi

Dalam simulasi, digunakan 10 buah *transmitter* sesuai dengan jumlah *channel* yang dibutuhkan. Masing-masing *channel* memiliki panjang gelombang sumber cahaya yang berbeda. Pengaturan panjang gelombang disesuaikan dengan ketentuan ITU-T tentang DWDM. Setelah melalui *multiplexer*, sinyal merambat melalui fiber optik *singlemode* G.655 sepanjang 84 km. Di ujung fiber optik, sinyal diuraikan ke *channel* masing-masing oleh *demultiplexer*, sebelum diterima oleh *receiver*. Instrumen BER *tester* atau BER *analyzer* dipasang di ujung *receiver*.

Langkah-langkah untuk membuat simulasi secara sederhana digambarkan melalui diagram alir pada gambar 3.5. Semua hasil dibuat dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan analisis. Seluruh hasil dan analisa dibahas lebih lanjut di bab 4.

Selain membuat simulasi sesuai dengan kondisi yang sebenarnya, dilakukan pula simulasi untuk mencari upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi nilai BER terukur. Faktor kritis pada *link* fiber optik yang beroperasi dengan *data rate* diatas 2.5 Gbps adalah bagaimana mengurangi efek dispersi (Agrawal, 2002). Simulasi dengan penambahan DCF dicoba dengan variasi pre-compensation, post-compensation, dan symmetrical compensation dimana masing-masing merujuk pada peletakan DCF. Teknik pemasangan ini telah dicoba dalam referensi (Khadir, et al., 2014) sebelumnya.

Selain penambahan DCF, untuk menyeimbangkan nilai BER akan dilakukan simulasi penambahan daya *transmitter* pada *channel* tertentu yang nilainya tersebar jauh dari *channel* lain.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini dibahas mengenai data-data hasil pengukuran dan simulasi yang telah dilakukan sesuai dengan metodologi penelitian pada bab III. Subbab 4.1 menunjukkan hasil pengukuran dan subbab 4.2 bentuk simulasi. Subbab 4.3 dan 4.4 terkait dengan analisis nilai SNR dan BER pada kondisi sesuai *backbone* STO Lamongan 1 - STO Kebalen. Subbab 4.5 dan 4.6 fokus membahas efek dua upaya optimasi nilai BER, yaitu penambahan *dispersion compensating fiber* (DCF) dan peningkatan daya transmitter terhadap nilai SNR. Berikut ini adalah pemaparan dan pembahasan mengenai hasil tersebut.

#### **4.1 Hasil Pengukuran *Bit Error Rate* (BER)**

Pengukuran BER menggunakan instrumen *BER Tester* dilakukan selama 24 jam untuk memenuhi persyaratan PT Telkom Indonesia terkait uji terima *backbone* jaringan. Pengukuran dilakukan di *slot* 20, *node ID* 25 dengan *board type* T210. Jenis pengukuran ini dikategorikan sebagai *traffic generation and monitoring*, artinya nilai BER dipantau secara *sampling* pada salah satu *channel* selama 24 jam untuk mengetahui apakah suatu *backbone* memenuhi nilai *pass*. Gambar 4.1 menunjukkan sebagian tampilan laporan yang dihasilkan BERT *EXFO FTB-1 Pro NetBlazer series*.

Hasil *pass* yang ditampilkan pada gambar 4.1 merupakan indikasi bahwa selama pengujian, nilai BER telah memenuhi nilai yang ditentukan sebelumnya oleh operator. Dalam persyaratan uji terima PT Telkom Indonesia, nilai BER yang memenuhi nilai *pass* adalah  $BER\ 10^{-23}$ . Dengan kata lain, setiap  $10^{23}$  bit data terkirim, terdapat 1 bit data yang error saat tiba di *receiver*.

<b>Application Type</b>	Traffic Generation and Monitoring
<b>Interface</b>	<b>Port 1</b>
<b>Interface/Rate</b>	10GE LAN
<b>Connector</b>	SFP+
<b>Flow Control</b>	None

(a)

<b>Test Status</b>	
<b>Test Status</b>	Completed
<b>Pass/Fail Verdict</b>	PASS
<b>Start Time</b>	3/27/2017 10:44:40 PM
<b>Duration</b>	01d:00:00:02
<b>Test Recovery</b>	0

(b)

Gambar 4.1. Hasil Pengukuran dengan BER Tester : (a) *Setup summary* dan (b) *Result summary*

## 4.2 Simulasi *Backbone* Segmen Lamongan-Kebalen

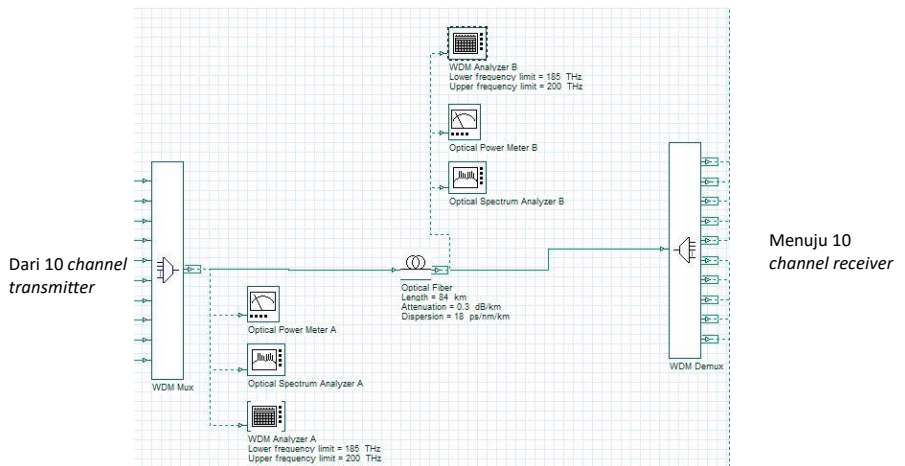
Simulasi dalam tugas akhir ini dilakukan menggunakan *software* Optisystem. Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi mengikuti spesifikasi komponen jaringan yang diukur sebelumnya. Secara global, parameter yang digunakan dalam simulasi diringkas dalam tabel 4.1 sedangkan rancangan visual dalam *software* ditunjukkan oleh gambar 4.2 - 4.4.

Gambar 4.2 merupakan link komunikasi fiber optik point-to-point, yang terdiri dari multiplexer, fiber optik, dan demultiplexer. Beberapa alat ukur (*visualizer*) ditambahkan pada sisi *transmitter* (setelah mux) dan sisi *transmitter* (sebelum demux) untuk mengetahui kondisi sinyal cahaya sebelum dan sesudah merambat melalui fiber optik.



Tabel 4.1. Parameter dalam simulasi

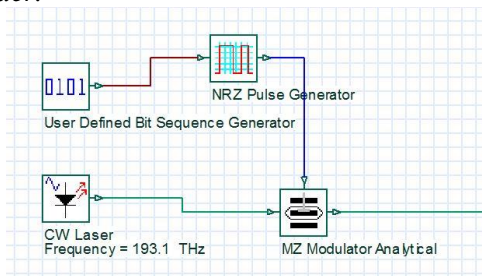
Parameter	Nilai	Satuan
<b>Global parameter</b>		
Bit rate	$10^9$	Bit/s
Sequence length	128	Bit
Sampel per bit	64	
Jumlah <i>channel</i>	10	
<b>Laser Source</b>		
Frequency	193.1 - 194	THz
Power	20	dBm
<b>Fiber Optik</b>		
Atenuasi maksimum	0.3	dB/km
Dispersi kromatik	18	ps/(nm.km)
<i>Dispersion slope</i>	0.090	ps/(nm <sup>2</sup> .km)
<i>PMD coefficient</i>	0.2	ps/km
<i>Effective Area</i>	80	$\mu\text{m}^2$
<b>Receiver</b>		
<i>Dark current</i>	10	nA
<i>Filter cutoff frequency</i>	0.75	

Gambar 4.2. Simulasi *link* fiber optik

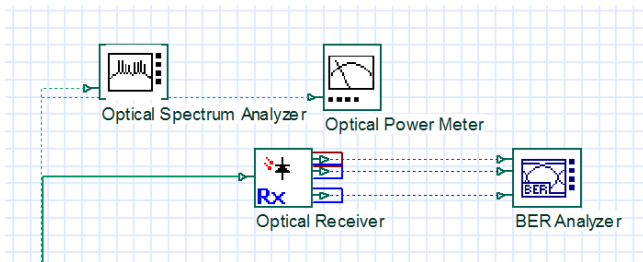
*Backbone* jaringan fiber optik STO Lamongan 1 - STO Kebalen merupakan suatu link dengan panjang 84 km. Parameter pada tabel 4.1 digunakan sebagai dasar pembuatan simulasi. Berdasarkan kondisi nyata, digunakan 10 *channel* DWDM dengan *bit rate* masing-masing *channel* sebesar 10 Gbps. Panjang gelombang tiap *channel* diatur melalui parameter frekuensi CW laser. Pada gambar 4.3, komponen CW laser menggunakan frekuensi 193.1 THz, atau setara panjang gelombang 1552.52 nm.

Berdasarkan standar ITU-T G.671 (International Telecommunication Union, 2012), pada simulasi ini digunakan DWDM dengan *spacing* sebesar 100 GHz. Artinya, setiap *channel* pada sistem ini akan memiliki selisih frekuensi sebesar 100 GHz atau setara panjang gelombang 0.8 nm. Secara lebih lanjut, grid frekuensi diatur dalam rekomendasi ITU-T G.694.1 (International Telecommunication Union, 2012). Pengaturan ini dapat dilakukan melalui menu *parameter groups* pada *software* optisystem.

Pada gambar 4.3 ditunjukkan bahwa *transmitter* terdiri atas 4 bagian yaitu *bit sequence generator*, NRZ pulse generator, CW laser, dan MZ Modulator. *Bit sequence generator* berfungsi membuat suatu *sequence* bit-bit *pseudorandom* untuk diuji kedalam sistem yang dirancang. Bit-bit tersebut diubah kedalam sinyal elektrik sesuai dengan moda prinsip *non return to zero*. Laser *continuous wave* (CW) memancarkan cahaya dalam frekuensi yang dipilih, sebelum meneruskan cahaya ke modulator *Mach-Zehnder*.



Gambar 4.3. Simulasi komponen *transmitter*



Gambar 4.4. Simulasi komponen *receiver* dan alat ukur

*Receiver*, seperti ditunjukkan gambar 4.4 memiliki komponen utama berupa *photodetector*, *filter*, dan *regenerator*. Namun dalam simulasi ini digunakan satu blok *optical receiver* secara langsung. Beberapa alat ukur dapat disambungkan sekaligus untuk mengetahui karakteristik sinyal yang diterima oleh *receiver*.

Simulasi yang dilakukan menggunakan *software* optisystem menghasilkan beberapa grafik dan hasil, diantaranya grafik spektrum, grafik BER, dan data *Q-factor*. Setelah dilakukan *running* atau *calculation* pada simulasi, beberapa komponen alat ukur (disebut juga *visualizer*) yang telah dipasang sebelumnya dapat menunjukkan berbagai data yang merepresentasikan performa sistem. Alat ukur tersebut diantaranya *WDM analyzer*, *optical spectrum analyzer* (OSA), *optical power meter* (OPM), dan *BER analyzer*. OSA diletakkan di dua titik, yaitu setelah *multiplexer* dan sebelum *demultiplexer* agar dapat membandingkan kondisi sinyal data sebelum dan setelah merambat melalui fiber optik, sedangkan *BER analyzer* diletakkan di setiap *receiver*.

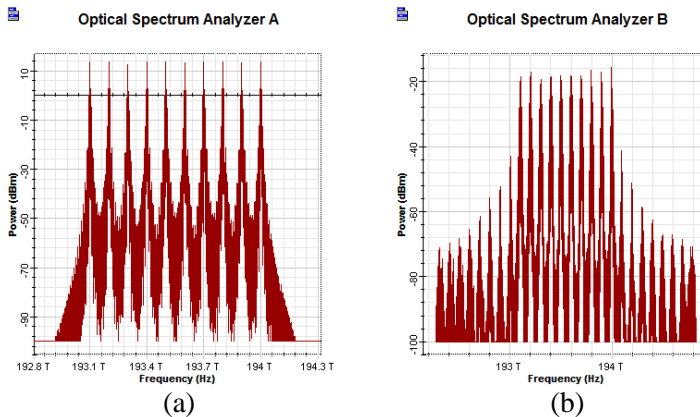
### 4.3 Analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR) berkaitan erat dengan *power/daya* dari sinyal cahaya yang sampai pada penerima informasi (*receiver*), dan besarnya *noise* atau gangguan yang mempengaruhi sinyal tersebut. Semakin besar nilai SNR semakin baik performa suatu *backbone* komunikasi fiber optik.

### 4.3.1 Analisis Hasil Simulasi

Untuk dapat memberikan informasi terkait sinyal dan *noise* pada sistem ini, digunakan instrumen *optical spectrum analyzer* (OSA) dan *WDM analyzer*. OSA memberikan visualisasi grafik, sedangkan *WDM analyzer* langsung memberikan data berupa tabel.

OSA menunjukkan bentuk spektrum yaitu daya terhadap frekuensi. Gambar 4.5 menunjukkan spektrum dari sumber cahaya yang digunakan dalam sistem komunikasi fiber optik berteknologi DWDM sebelum dan sesudah mengalami transmisi. Pada gambar (a) terlihat bahwa terdapat 10 puncak daya dengan masing masing berjarak 0.1 THz atau 100 GHz. Puncak daya ini memiliki nilai sekitar 15 dBm, dari nilai daya sumber cahaya awal sebesar 20 dBm. Pada gambar (b), setelah melalui 84 km perambatan melalui fiber optik, tentunya sinyal yang akan diterima *receiver* mengalami degradasi berupa loss dan adanya *noise* yang teramati dari bentuk spektrumnya. Pada gambar tersebut terlihat bahwa puncak-puncak spektrum tidak lagi berada pada level 15 dB melainkan menurun. Banyak *noise* berada disekitar spektrum utama dengan daya *noise* maksimum berkisar -70 dBm.



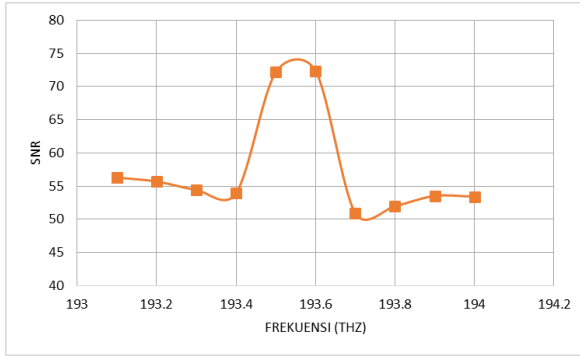
Gambar 4.5. Spektrum 10 *channel* transmitter DWDM. (a) pada *transmitter* dan (b) setelah melalui 84 km fiber optik

Selain visualisasi oleh OSA diatas, untuk dapat mengetahui besaran daya dengan lebih spesifik, perlu dilihat nilai yang dihasilkan oleh WDM *analyzer* pada tabel 4.2. Komponen WDM *analyzer* dipasang sebelum *demultiplexer*. Selain mengetahui besarnya daya, juga menunjukkan frekuensi dan panjang gelombang tiap *channel*nya. Tabel tersebut juga menunjukkan nilai *signal to noise ratio* (SNR) yang merupakan perbandingan logaritmik daya sinyal dan *noise*. Diketahui bahwa maksimum SNR adalah 97.37 pada panjang gelombang 1548.51 nm atau frekuensi 193.6 THz. Grafik ditunjukkan pada gambar 4.6.

Tabel 4.2. Nilai SNR hasil simulasi

<i>Channel</i>	Frekuensi (THz)	Panjang gelombang (nm)	<i>Signal Power</i> (dBm)	<i>Noise Power</i> (dBm)	SNR (dB)
1	193.1	1552.52	-10.0329	-66.3341	56.3012
2	193.2	1551.72	-9.6107	-65.3205	55.7098
3	193.3	1550.92	-9.5933	-64.0493	54.4560
4	193.4	1550.12	-9.4571	-63.4041	53.9470
5	193.5	1549.32	-9.5093	-81.7037	72.1944
6	193.6	1548.51	-9.4857	-81.8578	72.3721
7	193.7	1547.72	-9.4682	-60.4076	50.9394
8	193.8	1546.92	-9.4823	-61.4926	52.0103
9	193.9	1546.12	-9.6898	-63.2318	53.5420
10	194	1545.32	-9.9352	-63.3648	53.4296

Pada gambar 4.6. terlihat bahwa nilai SNR cukup stabil diantara nilai 50 hingga 56, dengan kenaikan cukup tajam pada frekuensi 193.5 dan 193.6 THz, atau setara pada panjang gelombang 1548.51 dan 1549.32 nm. Dua *channel* tersebut merupakan panjang gelombang pusat dari spektrum yang digunakan dalam *backbone* DWDM. Kenaikan ini dipengaruhi oleh karakteristik dari berbagai komponen dalam sistem komunikasi yang optimal pada panjang gelombang tertentu. Nilai SNR pada semua *channel* telah memenuhi rekomendasi ITU-T untuk *backbone* dengan data rate 10 Gbps per *channel*, yaitu sebesar 25 dB.



Gambar 4.6. Grafik SNR pada setiap frekuensi

#### 4.3.1 Validasi Hasil

Validasi terhadap hasil simulasi pada tabel 4.2 dapat dilakukan dengan membandingkan hasil tersebut dengan hasil perhitungan metode *link power budget* yaitu persamaan berikut :

$$a_{\text{tot}} = P_T - P_R \quad (\text{pers.16})$$

$$a_{\text{tot}} = L \cdot a_f + N_c \cdot a_c + N_s \cdot a_s + a_{sp} \quad (\text{pers.17})$$

$P_T$  = transmitter power

$P_R$  = power received

$a_{\text{tot}}$  = total loss

$L$  = panjang fiber optik (km)

$a_f$  = atenuasi fiber optik (dB/km)

$N_c$  = jumlah konektor

$a_c$  = loss konektor (dB)

$N_s$  = jumlah *splices*

$a_s$  = loss *splices* (dB)

$a_{sp}$  = loss *splitter* (dB)

Karena loss diasumsikan hanya berasal dari fiber optik, *multiplexer*, dan *demultiplexer* sehingga :

$$a_{\text{tot}} = L \cdot a_f + a_{\text{mux}} + a_{\text{demux}}$$

$$a_{\text{tot}} = \left( 84 \text{ km} \times 0.3 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \right) + 5 \text{ dB} = 30.2 \text{ dB}$$

$$P_{R(\min)} = P_T - a_{\text{tot}} = 20 - 30.2 = -10.2 \text{ dBm}$$

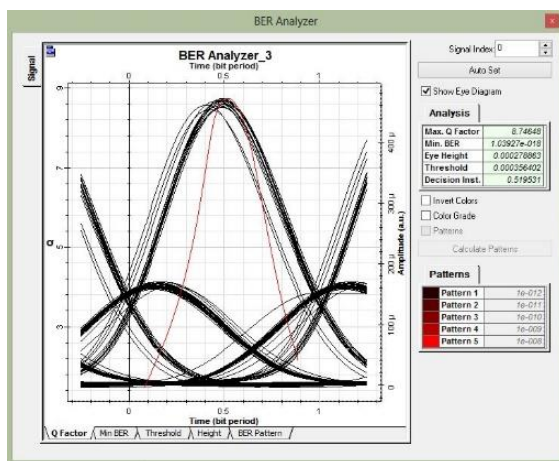
Maka hasil *signal power* yang diterima receiver pada tabel 4.2 bersesuaian dengan hasil perhitungan teoritis karena lebih dari nilai minimum hasil perhitungan, dengan simpangan maksimum 0.74 dB

#### 4.4 Analisis Bit Error Rate (BER)

*Bit error rate* adalah salah satu cara untuk mengetahui kualitas sinyal yang dikirimkan melalui sistem komunikasi fiber optik. Melalui *BER analyzer* dalam *software* optisystem, dapat dihasilkan nilai BER, sekaligus grafik *Q-factor* dan *eye diagram*.

##### 4.4.1 Analisis Hasil Simulasi

Gambar 4.7 merupakan contoh tampilan hasil pengukuran sebuah *BER analyzer* yang dipasang pada salah satu *receiver*.



Gambar 4.7. Eye diagram pada *BER analyzer*

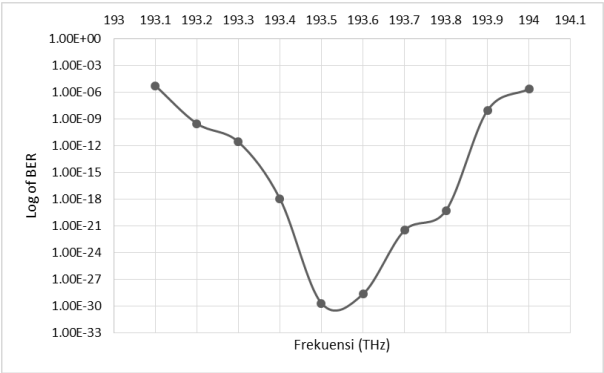
Pada gambar 4.7 terlihat bahwa dengan *BER analyzer* dapat diperoleh berbagai parameter yaitu *Q-factor* sebesar 6.465, BER

$1.04 \times 10^{-18}$ , serta parameter *eye diagram* yaitu *threshold* dan *eye height*. Setelah berhasil memperoleh nilai BER, langkah simulasi diulang dengan memberikan *BER analyzer* di setiap *channel*. Hasil simulasi BER pada setiap *channel* ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil simulasi BER

<i>Channel</i>	Frekuensi (THz)	Panjang gelombang (nm)	<i>Max Q-factor</i>	Min BER
1	193.1	1552.52	4.3493	4.99E-06
2	193.2	1551.72	6.1703	2.89E-10
3	193.3	1550.92	6.8749	2.48E-12
4	193.4	1550.12	8.7465	1.04E-18
5	193.5	1549.32	11.3956	2.05E-30
6	193.6	1548.51	11.1893	2.15E-29
7	193.7	1547.72	9.6106	3.03E-22
8	193.8	1546.92	9.0665	5.16E-20
9	193.9	1546.12	5.5698	8.66E-09
10	194	1545.32	4.4971	2.24E-06

Berdasarkan tabel 4.3, diketahui bahwa nilai BER bervariasi mengikuti suatu pola tertentu yang dipengaruhi frekuensi atau panjang gelombang cahaya yang digunakan. Grafik pengaruh frekuensi terhadap BER terdapat dalam gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik frekuensi terhadap *log of BER*



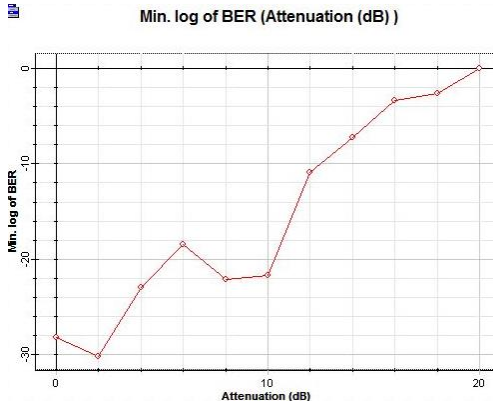
Dari tabel dan grafik diketahui bahwa BER terkecil diperoleh pada channel 5 yaitu  $2.05 \times 10^{-30}$ . Semakin menjauh dari frekuensi tengah, nilai BER semakin besar namun semua masih memenuhi nilai standar BER maksimum komunikasi optik yaitu  $10^{-6}$ . Untuk mencapai performa maksimal *backbone* 100 Gbps, simulasi untuk mengoptimalkan nilai BER dilakukan dan hasilnya ditunjukkan pada subbab berikutnya.

Beberapa parameter dapat mempengaruhi BER secara langsung maupun tidak langsung. Salah satunya adalah daya yang diterima oleh *receiver*. Semakin tinggi daya sinyal tentunya diharapkan bit-bit dapat terbaca dengan baik sehingga *bit error rate* menurun. Pada kondisi tertentu, ketika daya sinyal terlalu rendah, nilai BER akan naik hingga tidak memenuhi syarat yang ditetapkan. Pengukuran *receiver sensitivity* merupakan suatu cara untuk mengetahui seberapa besar atenuasi sinyal yang mampu ditoleransi sistem. *Receiver sensitivity* didefinisikan sebagai daya optik minimal yang diterima *receiver* untuk menjaga BER pada nilai yang diharapkan.

Dalam tugas akhir ini dilakukan pengukuran sekaligus simulasi untuk mengetahui pengaruh atenuasi terhadap nilai BER. *Set up* pengukuran telah dijelaskan pada subbab 3.2. Tabel berikut menunjukkan nilai *receiver sensitivity* hasil pengukuran yang dilakukan di STO Kebalen.

Tabel 4.4. Hasil pengukuran *receiver sensitivity*

<i>Channel</i>	Frekuensi (THz)	Nilai redaman pada attenuator (dB)	BER
1	193.1	-17.4	1.90E-05
2	193.2	-17.8	1.58E-05
3	193.3	-18.1	1.36E-05
4	193.4	-18.5	2.73E-05
5	193.5	-17.5	2.70E-05
6	193.6	-18	2.61E-05
7	193.7	-18.5	1.15E-05
8	193.8	-17.6	2.70E-05
9	193.9	-18.4	2.25E-05
10	194	-17.8	2.15E-05



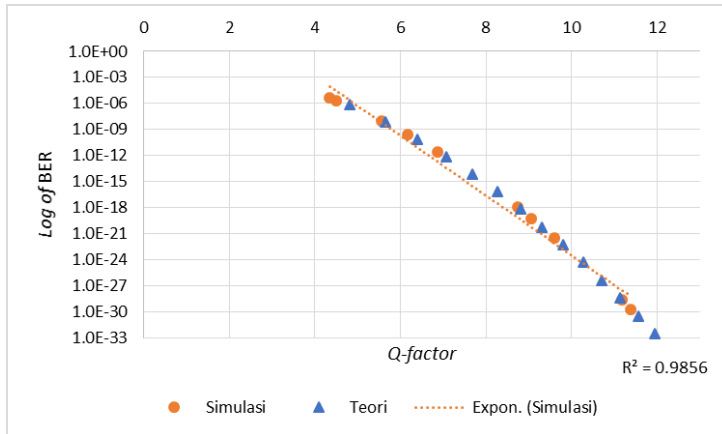
Gambar 4.9. Hasil simulasi pengaruh atenuasi terhadap BER

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa di setiap *channel* nilai redaman maksimum bervariasi antara -17.4 hingga -18.5 dB, dengan nilai BER pada orde  $10^{-5}$ . Hasil simulasi (gambar 4.9) pada *channel* 6 menunjukkan bahwa semakin besar redaman yang diberikan pada sistem, nilai BER akan meningkat membentuk grafik yang hampir linier. Simulasi ini dilakukan pada variasi redaman 0 hingga 20 dB. Semua penambahan redaman mengakibatkan naiknya BER kecuali pada redaman 2 dan 8 dB. Hasil simulasi ini bersesuaian dengan hasil pengukuran yang dilakukan di *backbone* yang sebenarnya dimana BER  $10^{-5}$  dicapai saat terjadi atenuasi sebesar -17.5 dB.

#### 4.4.2 Validasi Hasil

Validasi terhadap simulasi dilakukan dengan membandingkan nilai  $Q$ -factor dan BER hasil simulasi terhadap persamaan teoritis. Berdasarkan persamaan 14 diketahui bahwa BER dipengaruhi oleh  $Q$ -factor. Hal ini yang menjadi landasan untuk memvalidasi hubungan antara  $Q$ -factor dan BER.

$$\text{BER} = P_e(Q) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-Q^2/2}}{Q} \quad (\text{pers.14})$$



Gambar 4.10. Perbandingan hubungan antara BER dan  $Q$ -factor secara teoritis dan hasil simulasi

Nilai BER berdasarkan persamaan tersebut dibandingkan dengan hasil yang diperoleh saat simulasi. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.10. Terlihat bahwa hasil simulasi telah sesuai dengan teori (Keiser, 2003). Hasil simulasi juga menunjukkan relasi yang sangat kuat terhadap *trendline* eksponensial ( $R^2 = 0.9856$ ).

#### 4.5 Pengaruh Penambahan *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) dan Daya *Transmitter* terhadap BER

Berdasarkan hasil simulasi BER pada tabel 4.3, semua channel telah memenuhi standar komunikasi fiber optik dan dapat beroperasi. Namun demikian, dapat dilakukan upaya untuk menurunkan nilai BER sehingga performa sistem menjadi optimal. Selain simulasi dengan mengikuti kondisi *backbone* yang sebenarnya, simulasi untuk menemukan upaya peningkatan performa *backbone* STO Lamongan 1 - STO Kebalen juga dilakukan. Nilai BER optimum yang direkomendasikan PT Telkom Indonesia untuk *backbone* 100 Gbps adalah  $10^{-12}$  sehingga terdapat 4 channel yang perlu diperhatikan. Cara pertama

yang dilakukan adalah menghilangkan efek dispersi melalui *Dispersion Compensating Fiber* (DCF), dengan harapan meningkatkan nilai *signal to noise ratio* dan menurunkan nilai *bit error rate* dari sistem secara keseluruhan. Cara kedua adalah dengan menambahkan daya transmitter pada channel yang memiliki nilai BER diatas  $10^{-12}$ .

#### 4.5.1 Analisis Pengaruh Penambahan *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) terhadap BER

Dalam simulasi yang dilakukan sebelumnya, parameter dispersi dirancang sesuai dengan *datasheet* fiber optik yaitu sebesar 18 ps/km. DCF harus dapat mengurangi nilai tersebut hingga menjadi nol. Jika dinyatakan dalam suatu persamaan matematis maka (Kiaee & Seraji, 2016):

$$(D_{SMF})(L_{SMF}) = -(D_{DCF})(L_{DCF})$$

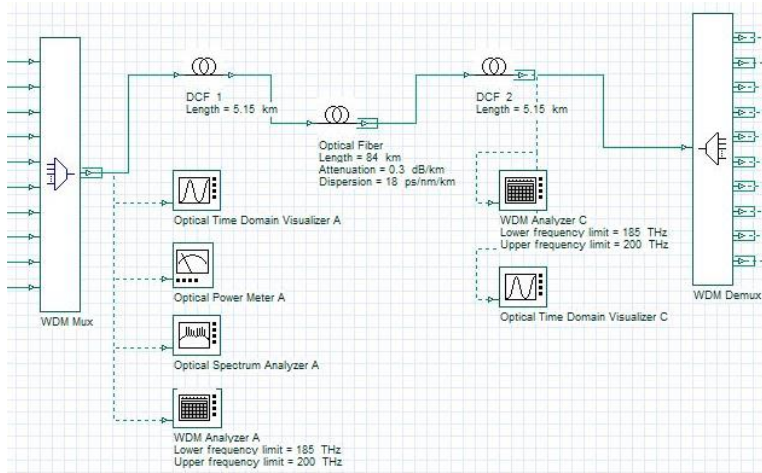
$$(18 \text{ ps/km})(84 \text{ km}) = -(147 \text{ ps/km})(L_{DCF})$$

Melalui persamaan diatas dihasilkan panjang DCF adalah 10.3 km untuk dispersi -147 ps/km. Susunan komponen pada simulasi ditunjukkan pada gambar 4.11.

Dalam simulasi ini digunakan skema *symmetrical compensation*, yaitu DCF diletakkan sebelum dan sesudah fiber optik utama. Panjang total DCF dibagi menjadi dua sama panjang untuk menghasilkan gabungan efek *pre* dan *post compensation*. Perbandingan spesifikasi kedua jenis fiber optik yang digunakan untuk simulasi diringkas dalam tabel 4.5 berikut

Tabel 4.5. Perbandingan parameter SMF dan DCF

Parameter	SMF	DCF
Panjang fiber (km)	84	10.3
Atenuasi maksimum (dB/km)	0.3	0.24
Dispersi kromatik (ps/(nm.km))	18	-147
<i>Dispersion slope</i> (ps/(nm <sup>2</sup> .km))	0.090	0.075



Gambar 4.11. Simulasi backbone fiber optik dengan penambahan DCF

Dengan menggunakan parameter DCF pada tabel 4.5, hasil simulasi *bit error rate* dari komponen diperoleh melalui BER analyzer. Hasil simulasi BER pada setiap *channel* ditunjukkan pada tabel 4.6, dan hubungan antara frekuensi dengan *log of BER* digambarkan dalam grafik pada gambar 4.12.

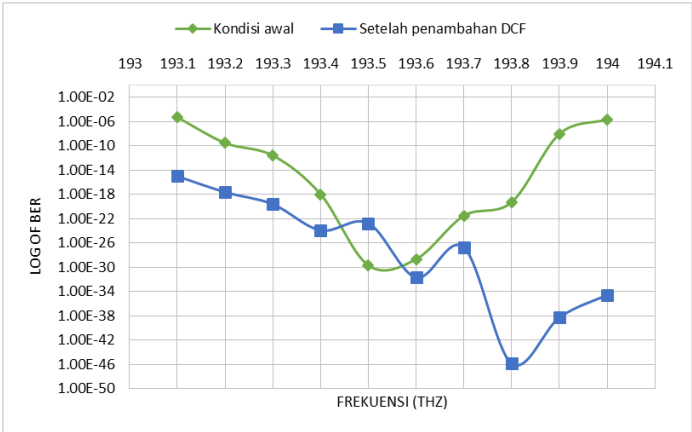
Penambahan *dispersion compensating fiber* terbukti telah menurunkan *bit error rate* hampir di semua frekuensi, kecuali pada frekuensi 193.5 THz BER naik menjadi  $1.75 \times 10^{-23}$ . Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai hal namun tidak akan signifikan karena nilainya masih jauh dibawah batas standar.

Tabel 4.6. Hasil simulasi BER setelah penambahan DCF

<i>Channel</i>	Frekuensi (THz)	Panjang gelombang (nm)	<i>Q-factor</i>	BER
1	193.1	1552.52	7.9286	9.76E-16
2	193.2	1551.72	8.65791	2.31E-18
3	193.3	1550.92	9.16429	2.38E-20

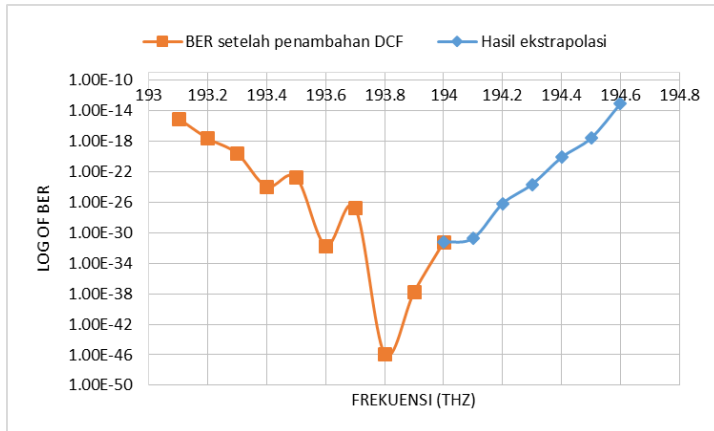
Tabel 4.6. Lanjutan

Channel	Frekuensi (THz)	Panjang gelombang (nm)	Q-factor	BER
4	193.4	1550.12	10.1752	1.17E-24
5	193.5	1549.32	9.89163	1.75E-23
6	193.6	1548.51	11.7875	2.04E-32
7	193.7	1547.72	10.7726	1.88E-27
8	193.8	1546.92	14.2809	1.39E-46
9	193.9	1546.12	12.9992	5.22E-39
10	194	1545.32	12.3286	2.90E-35



Gambar 4.12. Grafik hubungan frekuensi terhadap *log of* BER sebelum dan setelah penambahan DCF

Pada grafik 4.12 ditunjukkan perubahan nilai *bit error rate* dalam kondisi sebenarnya dan setelah ditambahkan komponen *dispersion compensating fiber*. Pada kondisi awal, hubungan antara BER dan frekuensi membentuk sebuah kurva gaussian terbalik dengan nilai minimum BER pada frekuensi 19.5 THz. Setelah penambahan DCF, terbentuk sebuah kurva baru dengan kemiringan yang berbeda dan membentuk kurva gaussian yang tidak lengkap. Dengan menggunakan teknik ekstrapolasi, kurva tersebut dilengkapi hingga menghasilkan grafik pada gambar 4.13.

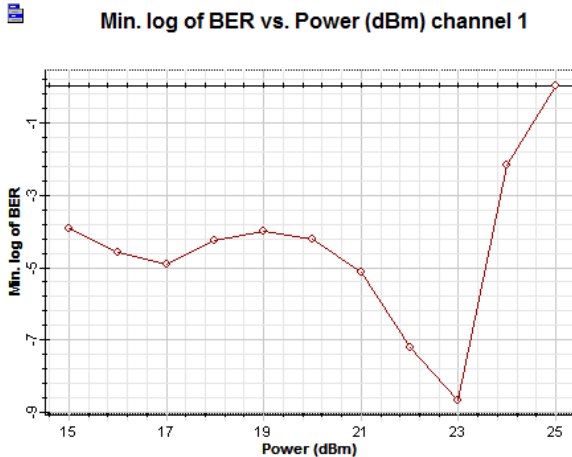


Gambar 4.13. Grafik hubungan frekuensi terhadap log of BER dengan ekstrapolasi

Nilai BER pada frekuensi 194.1 hingga 194.6 diperoleh dengan ekstrapolasi persamaan trendline frekuensi 193.1 hingga 193.8 dan modifikasi sehingga membentuk setengah kurva baru menggunakan persamaan eksponensial. Dengan langkah ini, diketahui bahwa penambahan DCF memperlebar cakupan kerja sistem, yaitu memungkinkan penambahan jumlah *channel* dari 10 menjadi 16.

#### 4.5.2 Analisis Pengaruh Penambahan Daya *Transmitter* terhadap BER

Selain dengan penambahan elemen *dispersion compensating fiber*, bentuk optimasi untuk memenuhi nilai BER pada sistem komunikasi fiber optik yang mungkin dilakukan adalah dengan meningkatkan daya pada *transmitter*. Penambahan daya dilakukan pada *channel* yang memiliki nilai BER diatas  $10^{-12}$  yaitu *channel* 1, 2, 9, dan 10 sesuai yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Penambahan jumlah daya disesuaikan dengan kebutuhan tiap *channel*.



Gambar 4.14. Pengaruh daya *transmitter* terhadap BER

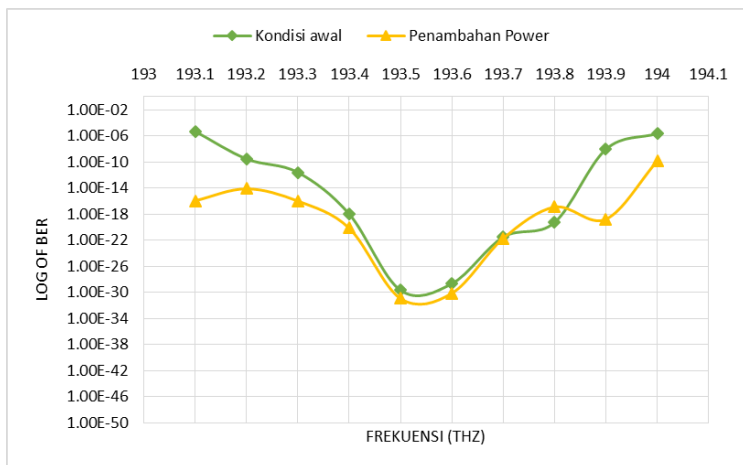
Pada gambar 4.14, ditunjukkan hasil simulasi berupa pengaruh daya terhadap BER pada *channel* pertama. Diketahui bahwa nilai daya yang menghasilkan nilai BER optimal pada *channel* 1 (193.1 THz) adalah 23 dB. Simulasi serupa dilakukan terhadap ketiga *channel* lain sehingga dihasilkan nilai berturut-turut 21, 21, dan 23 dB untuk *channel* 2, 9, dan 10. Pada *channel* lain, daya yang digunakan adalah tetap 20 dB. Nilai BER tiap *channel* dan daya *transmitter* yang digunakan ditunjukkan pada tabel 4.7 dan gambar 4.15.

Simulasi dengan penambahan daya *transmitter* pada *channel* 1, 2, 9, dan 10 berhasil menunjukkan penurunan nilai BER pada *channel* tersebut. Grafik frekuensi terhadap BER yang dihasilkan menjadi lebih landai namun pada *channel* 10 (194 THz) nilai BER  $10^{-12}$  belum dapat tercapai.



Tabel 4.7. Hasil simulasi BER setelah penambahan daya *transmitter*

<i>Channel</i>	<b>Frekuensi (THz)</b>	<b>Power (dBm)</b>	<b>Max Q- factor</b>	<b>Min BER</b>
1	193.1	23	8.17	1.10E-16
2	193.2	21	7.68	7.59E-15
3	193.3	20	8.21	9.97E-17
4	193.4	20	9.29	6.96E-21
5	193.5	20	11.65	1.14E-31
6	193.6	20	11.48	7.21E-31
7	193.7	20	9.65	1.88E-22
8	193.8	20	8.45	1.20E-17
9	193.9	21	8.94	1.64E-19
10	194	23	6.58	1.43E-10



Gambar 4.15. Grafik hubungan frekuensi terhadap *log of BER* sebelum dan setelah penambahan daya *transmitter*

#### 4.6 Pengaruh Penambahan *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) dan Daya *Transmitter* terhadap SNR

Selain dampak optimasi terhadap nilai BER, pengaruh penambahan DCF dan daya transmitter juga diamati terhadap SNR. Simulasi dilakukan untuk mengetahui apakah optimasi tersebut berhasilkan menaikkan *signal to noise ratio* sesuai harapan atau sebaliknya.

##### 4.6.1 Pengaruh *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) terhadap SNR

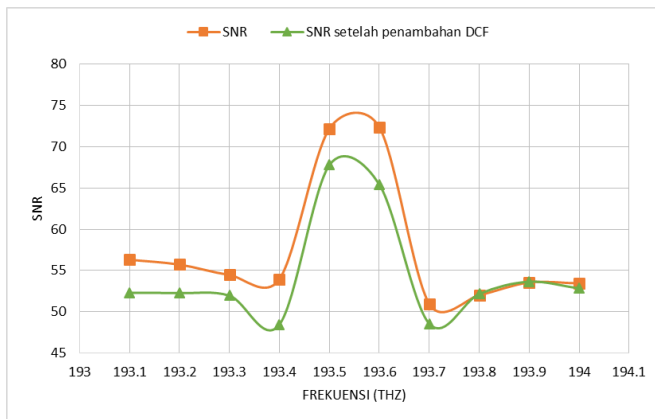
Pada subbab ini akan diketahui efek penambahan *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) terhadap nilai SNR. Adapun hasil simulasi diringkas dalam tabel 4.8.

Tabel 4.8. Nilai SNR akibat pengaruh penambahan DCF

<i>Channel</i>	Frekuensi (THz)	Panjang gelombang (nm)	<i>Signal Power</i> (dBm)	<i>Noise Power</i> (dBm)	SNR (dB)
1	193.1	1552.52	-12.0621	-64.3371	52.2750
2	193.2	1551.72	-12.1359	-64.3911	52.2552
3	193.3	1550.92	-12.1480	-64.0902	51.9423
4	193.4	1550.12	-12.1795	-60.6226	48.4431
5	193.5	1549.32	-12.2332	-80.0186	67.7853
6	193.6	1548.51	-12.1313	-77.5563	65.4250
7	193.7	1547.72	-12.1195	-60.6586	48.5391
8	193.8	1546.92	-12.2316	-64.3788	52.1472
9	193.9	1546.12	-12.1432	-65.7777	53.6345
10	194	1545.32	-12.0864	-64.9082	52.8218

Gambar 4.16 merupakan perbandingan antara SNR sebelum dan setelah penambahan DCF. Bila kondisi sebelum dan sesudah penambahan DCF dibandingkan, sangat tampak bahwa penambahan DCF menyebabkan penurunan SNR. Hal ini dibuktikan dari tabel 4.8 yaitu daya sinyal yang menurun menjadi -12 dBm setelah adanya penambahan DCF dari nilai awal -9 dBm

(pada tabel 4.2). Tentunya hal ini disebabkan DCF sendiri memiliki nilai atenuasi yaitu sebesar 0.24 dB/km. Penurunan yang terjadi juga tidak signifikan dan hasil akhir SNR masih diatas nilai SNR minimum rekomendasi yaitu 25 dB. Selain penurunan tersebut, juga tidak terdapat banyak perbedaan pada bentuk kurva dan posisi puncak tetap berada di frekuensi 193.5 dan 193.6 THz. Besarnya penurunan SNR juga tidak sama antar *channel*. Bahkan pada *channel* 8,9, dan 10 hampir tidak ada penurunan.



Gambar 4.16. Perubahan SNR akibat penambahan DCF

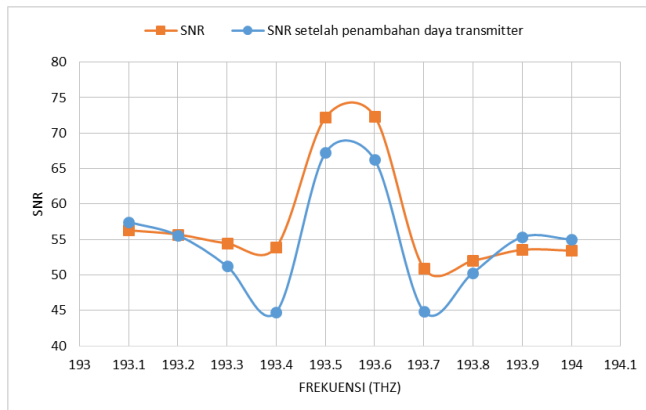
#### 4.6.2 Pengaruh Penambahan Daya *Transmitter* terhadap SNR

Untuk meningkatkan performa suatu sistem komunikasi fiber optik, salah satu hal yang harus diperhatikan adalah daya yang dihasilkan *transmitter*. Dalam kasus DWDM, terdapat banyak panjang gelombang atau frekuensi yang digunakan. Disisi lain, komponen dalam sistem komunikasi mulai *transmitter* hingga *receiver* memiliki rentang kerja yang berbeda hingga memiliki respon berbeda terhadap panjang gelombang tertentu. Dalam simulasi ini, seperti yang ditunjukkan sebelumnya, memiliki SNR terbaik pada frekuensi 193.5 dan 193.6 THz atau frekuensi tengah dari spektrum. Untuk meningkatkan nilai SNR dan BER supaya

merata pada semua *channel*, dilakukan penambahan daya *transmitter* pada 2 frekuensi tertinggi dan terendah dari spektrum DWDM 10 *channel backbone* STO lamongan 1 - STO Kebalen. Penambahan dilakukan sebesar 3 dB untuk *channel* 1 dan 10, serta 1 dB untuk *channel* 2 dan 9. Hasil simulasi ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.9. Hasil SNR akibat pengaruh penambahan daya *transmitter*

<i>Channel</i>	Frekuensi (THz)	Power (dBm)	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	SNR (dB)
1	193.1	23	-8.3166	-65.7707	57.4541
2	193.2	21	-8.9735	-64.5691	55.5956
3	193.3	20	-9.5805	-60.8145	51.2339
4	193.4	20	-9.4457	-54.2296	44.7839
5	193.5	20	-9.3800	-76.5989	67.2189
6	193.6	20	-9.5068	-75.7519	66.2452
7	193.7	20	-9.3579	-54.2348	44.8769
8	193.8	20	-9.7684	-60.0827	50.3143
9	193.9	21	-8.7451	-64.0943	55.3492
10	194	23	-8.1624	-63.1606	54.9982



Gambar 4.17. Perubahan SNR akibat penambahan daya *transmitter*

Grafik pada gambar 4.17 menunjukkan bahwa nilai SNR berhasil meningkat pada *channel* 1, 9, dan 10. Pada *channel* 2 nilai SNR sebelum dan sesudah penambahan daya hampir berimpit yaitu dari 55.7 ke 55.59. Secara umum pada *channel* yang lain, nilai SNR mengalami penurunan yang nilainya berbeda satu sama lain, namun tidak terlalu signifikan. Sama halnya dengan penambahan DCF, SNR masih berada diatas nilai rekomendasi 25 dB sehingga transmisi data pada *backbone* memenuhi standar.

#### 4.7 Pembahasan

Simulasi untuk *backbone* komunikasi fiber optik pada segmen STO Lamongan 1 - STO Kebalen telah dapat dilakukan dengan *software* Optisystem. Dalam proses pengambilan data di lapangan, parameter yang diukur adalah BER pada salah satu panjang gelombang dan *receiver sensitivity* pada seluruh *channel*, yang hasilnya dijabarkan dalam subbab 4.1 dan 4.4. Pengukuran di *backbone* STO Lamongan 1 - STO Kebalen menunjukkan nilai BER sebesar  $10^{-23}$  dimana angka tersebut sudah memenuhi standar, baik yang ditetapkan oleh PT Telkom Indonesia ataupun standar komunikasi internasional ITU-T. Pengukuran tersebut dilakukan pada salah satu *channel* dan dianggap mampu mewakili kondisi seluruh *channel* pada *backbone* tersebut.

Pelaksanaan simulasi menjadi langkah yang sangat penting karena dapat menunjukkan karakteristik dari tiap-tiap *channel* (panjang gelombang/frekuensi) secara detail. Karakteristik *backbone* yang diperoleh melalui simulasi antara lain SNR, BER, dan *Q-factor*. Dalam *software* optisystem dapat disimulasikan berbagai variasi mulai dari daya input, panjang gelombang dan frekuensi sumber cahaya, kecepatan transfer data, karakteristik fiber optik, hingga jenis dan karakteristik *receiver*. Berbagai konfigurasi jaringan juga dapat dirancang sesuai kebutuhan.

Parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR) dapat diketahui melalui komponen WDM Analyzer yang dipasang pada dua titik, yaitu pada *transmitter* dan pada *receiver*. WDM analyzer

digunakan karena *backbone* yang disimulasikan menggunakan teknologi DWDM pada frekuensi *band-C* yaitu 193.1 - 194 THz. Simulasi menunjukkan bahwa nilai SNR pada seluruh channel telah memenuhi rekomendasi untuk *link backbone* 10 Gbps yaitu minimal 25 dB. SNR juga cukup stabil diantara nilai 50 hingga 56, dengan kenaikan cukup tajam pada frekuensi 193.5 dan 193.6 THz. Nilai SNR tertinggi diperoleh pada *channel* 6 dengan SNR 72.3721. Data yang ditunjukkan membuktikan bahwa meskipun di *receiver*, sumber cahaya memiliki daya/power yang hampir sama di setiap *channel*, nilai SNR yang diperoleh dapat berbeda. Faktor yang menyebabkan nilai SNR berbeda lebih didominasi oleh *noise power*. Jenis *noise* yang paling menyebabkan penurunan SNR adalah ASE dan *thermal noise*. Namun, karena dalam simulasi ini tidak menggunakan amplifier, artinya nilai SNR paling banyak dipengaruhi oleh *thermal noise* pada *receiver*.

Pada simulasi untuk menentukan *bit error rate* dihasilkan nilai BER yang bervariasi pada *channel* yang berbeda. Semua frekuensi telah memenuhi standar minimum BER untuk komunikasi fiber optik, walaupun hasilnya tidak sama rata. Grafik 4.8 dengan jelas menunjukkan adanya pengaruh frekuensi atau panjang gelombang terhadap nilai BER. Hal ini berkaitan dengan karakteristik fiber optik dan *receiver* yang memiliki daerah kerja puncak pada 1550 nm. Semakin jauh panjang gelombang dari nilai tersebut, semakin besar *loss* yang terjadi sehingga secara tidak langsung akan menurunkan nilai BER. Namun, atenuasi bukanlah satu-satunya faktor yang mempengaruhi nilai BER karena dari hasil analisa SNR sebelumnya, daya output yang diterima antara satu *channel* dengan *channel* yang lain tidak memiliki selisih terlalu banyak. Daya *transmitter*, *noise*, dispersi, *data rate*, dan beberapa faktor lain cukup andil dalam mempengaruhi *bit error*.

Simulasi berikutnya dilakukan untuk mengamati pengaruh penambahan atenuasi terhadap nilai BER. Untuk simulasi ini diambil salah satu *receiver* yaitu pada *channel* 6 dengan frekuensi 193.6 THz. Grafik yang dihasilkan oleh optisystem sesuai dengan hasil pengambilan data yaitu dengan penambahan atenuasi sebesar rata-rata 18 dB, maka nilai BER akan meningkat hingga diatas

$10^{-6}$  dimana nilai tersebut sudah keluar dari standar yang ditetapkan.

Dua cara optimasi disimulasikan dalam tugas akhir ini. Cara pertama adalah penambahan komponen *dispersion compensating fiber* (DCF), dan cara kedua adalah penambahan daya *transmitter* pada *channel* dengan frekuensi tertinggi dan terendah. Penambahan *dispersion compensating fiber*, yang dilakukan dalam simulasi berikutnya terbukti telah menurunkan *bit error rate* hampir di semua frekuensi, kecuali pada frekuensi 193.5 THz BER naik menjadi  $1.75 \times 10^{-23}$ . Hal ini sesuai dengan teori bahwa DCF berhasil mengurangi efek dispersi namun fiber ini bekerja dalam range spektrum yang luas sehingga efek penurunan dispersi ini tidak merata di semua *channel*. Tampak di gambar 4.12 nilai BER mengalami penurunan namun tidak seimbang untuk tiap-tiap frekuensi. Namun demikian, tujuan untuk menurunkan nilai BER telah tercapai melalui teknik *symmetrical compensation*.

Proses ekstrapolasi dilakukan untuk menyelidiki efek penambahan DCF terhadap BER spektrum DWDM secara keseluruhan. Dari hasil pada gambar 4.13 diketahui bahwa penambahan DCF menurunkan BER sehingga jumlah *channel* yang mungkin digunakan lebih banyak, yaitu 16 *channel*. Kurva yang didapat bergeser hingga ke frekuensi 194.6 THz. Pada frekuensi tertinggi tersebut, diperoleh nilai BER  $8.47 \times 10^{-14}$ .

Salah satu cara lain yang dilakukan untuk menyeimbangkan nilai BER pada semua *channel* adalah dengan memberikan daya tambahan pada *channel* tertentu, dalam hal ini pada *channel* 1, 2, 9, dan 10 yang masih memiliki nilai BER diatas  $10^{-12}$ . Hasil dari simulasi menunjukkan grafik yang semakin landai, yaitu nilai BER yang menuju seimbang. Namun dengan simulasi ini masih belum dapat dicapai nilai BER  $10^{-12}$  untuk *channel* 10 walaupun telah dilakukan penambahan power hingga 23 dB. Dengan demikian solusi untuk meningkatkan nilai BER dengan lebih cepat adalah dengan penambahan DCF, walaupun akan memerlukan penambahan komponen tertentu. Solusi berupa peningkatan daya *transmitter* dapat digunakan sebagai solusi mudah dan praktis dalam kasus tertentu.

Selain dampak langsung pada BER, efek dari penambahan komponen *dispersion compensating fiber* (DCF) dan penambahan daya *transmitter* juga diamati pada SNR. Dengan penambahan 10.3 km DCF dengan konstanta dispersi -147 (ps/nm.km), nilai SNR masih memenuhi standar komunikasi untuk backbone 10 Gbps per channel, yaitu 25 dB. Namun, terjadi penurunan nilai SNR pada hampir semua *channel*. Puncak SNR terdapat pada frekuensi 193.5 THz dengan SNR 67.7853. Hal ini disebabkan DCF memberikan atenuasi tambahan sebesar 0.24 dB/km sehingga daya sinyal yang diterima menurun. Namun selebihnya, dispersi sinyal yang terjadi pada sebuah sistem transmisi optik tidak mempengaruhi nilai SNR secara langsung karena mempengaruhi transmisi dari segi bit data, bukan daya sinyal.

Lain halnya dengan penambahan DCF, optimasi berupa penambahan power menunjukkan hasil berupa SNR yang lebih tinggi atau sama dengan kondisi awal, namun hanya pada *channel* yang ditambah daya *transmitter*nya. Justru pada *channel* lain, terjadi penurunan SNR. Penurunan yang paling besar terjadi pada *channel* 4 yaitu dari 53.95 menjadi 44.78. Secara umum SNR tidak banyak dipengaruhi oleh kedua bentuk optimasi, baik penambahan DCF atau daya transmitter sehingga upaya tersebut dapat menjadi solusi untuk memaksimalkan kinerja sistem sesuai kebutuhan nilai BER.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hal yang dapat disimpulkan dari pelaksanaan tugas akhir ini diantaranya :

1. Telah dapat dilakukan analisis terhadap parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER) dalam *backbone* komunikasi fiber optik segmen STO Lamongan 1 - STO Kebalen milik PT Telkom Indonesia melalui simulasi *software* Optisystem
2. Berdasarkan hasil simulasi, nilai SNR maksimum adalah 72.37 yang terdapat pada frekuensi 193.6 THz. Semua *channel* DWDM telah memenuhi standar nilai BER untuk komunikasi yaitu  $10^{-6}$ . Nilai BER minimum diperoleh pada frekuensi 193.5 THz yaitu  $2.05 \times 10^{-30}$
3. Untuk meningkatkan performa sistem menuju BER maksimum  $10^{-12}$  dilakukan dua macam optimasi yaitu penambahan *dispersion compensating fiber* (DCF) dan penambahan daya *transmitter*. Sesuai hasil BER, penambahan sebesar 3 dB dilakukan pada *channel* 1 dan 10, serta sebesar 1 dB pada *channel* 2 dan 9.
  - Penambahan DCF berhasil menurunkan BER maksimum ke  $9.76 \times 10^{-16}$  dan memperlebar rentang kerja sistem dari 10 menjadi 16 *channel*
  - Penambahan daya *transmitter* berhasil meningkatkan performa sistem dengan menurunkan nilai BER maksimum pada frekuensi tinggi dan rendah ke orde  $10^{-10}$  dari nilai awal  $10^{-6}$
  - SNR tidak banyak dipengaruhi oleh kedua bentuk optimasi dan masih memenuhi nilai yang direkomendasikan yaitu minimal 25 dB, walaupun terjadi penurunan di *channel* tertentu

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terkait pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Melakukan simulasi dengan berbagai variabel lain untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja sistem
2. Membuat simulasi yang lebih kompleks terkait sistem dua arah (*bidirectional*) dalam komunikasi fiber optik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, G. P., 2002. *Fiber-Optic Communication System, 3rd edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Alam, J., Alam, R., Hu, G. & Mehrab, Z., 2014. Improvement of Bit Error Rate in Fiber Optic Communication. *International Journal of Future Computer and Communiccation*, 4(3), pp. 281-286.
- Almeida, A. et al., 2014. *Calculation of the Number of Bits Required for the Estimation of the Bit Error Ratio*. Aveiro, Portugal, s.n.
- Chen, M., Yang, J., Zhang, N. & You, S., 2015. Optical Signal-to-Noise Ratio Monitoring Based on Four-Wave Mixing. *Optical Engineering*, 54(5), pp. 056109-1-6.
- Djordjevic, I., Ryan, W. & Vasic, B., 2010. Fundamentals of Optical Communication. In: *Coding for Optical Channels*. s.l.:Springer, pp. 25-73.
- Gillani, S. M., Khan, M. A. & Shahid, M. K., 2015. Reach Extendibility of Passive Optical Network Technologies. *Optical Switching and Networking*, Volume 18, p. 211–221.
- Hantoro, G. D. & Karyada, 2015. *Fiber Optik : Teknologi, Material, Instalasi, dan Implementasi*. Bandung: Informatika.
- Idachaba, F., Ike, D. U. & Orovwode, H., 2014. *Future Trends in Fiber Optics Communication*. London, s.n.
- International Telecommunication Union, 2009. *ITU-T Handbook : Optical Fibre, Cables and Systems*, Geneva: s.n.
- International Telecommunication Union, 2012. *ITU-T Recommendation G.671 : Transmission Characteristics of Optical Components and Subsystems*, s.l.: s.n.
- International Telecommunication Union, 2012. *ITU-T Recommendation G.694.1 : Spectral Grids for WDM Applications: DWDM Frequency Grid*, s.l.: s.n.
- Kartalopoulos, S. V., 2004. *Per-port Statistical Estimation of Bit Error Rate and Optical Signal to Noise Ratio in DWDM Telecommunications*. s.l., SPIE Proceedings.

- Kaur, M., Sarangal, H. & Bagga, P., 2015. Dispersion Compensation with Dispersion Compensating Fibers (DCF). *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, IV(2), pp. 3354-356.
- Keiser, G., 2003. *Optical Communication Essentials*. New York: McGraw-Hill.
- Keiser, G., 2010. *Optical Fiber Communications, 4th edition*. Singapore: McGraw-Hill International Edition.
- Khadir, A. A., Dhahir, B. F. & Fu, X., 2014. Achieving Optical Fiber Communication Experiments by OptiSystem. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(6), pp. 42-53.
- Kiaee, M. S. & Seraji, F. E., 2016. Design of a 32×5 Gb/s DWDM Optical Network over a Distance of 1000 km. *International Journal of Optics and Applications*, 6(2), pp. 31-36.
- Kumar, N., 2014. Improved Performance Analysis of Gigabit Passive Optical Networks. *Optik*, Volume 125, p. 1837– 1840.
- Lim, C., Lee, K.-L. & Nirmalathas, A., 2016. Review of Physical Layer Networking for Optical-Wireless Integration. *Optical Engineering*, 55(3), pp. 031113 (1-12).
- Maharani, A. & Kusumawardhani, A., 2009. Pengukuran Pengaruh Kelengkungan Serat Optik terhadap Rugi Daya Menggunakan Optical Time Domain Reflectometer (OTDR). *Jurnal POMITS ITS*, pp. 1-5.
- Massa, N., 2000. Fiber Optic Telecommunication. In: *SPIE Fundamental of Photonics*. s.l.:Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, pp. 293-374.
- Maxim Integrated, 2004. Physical Layer Performance: Testing the Bit Error Ratio (BER). *Technical Article HFTA*, September, p. 7.
- Paschotta, R., 2009. *RP Photonics Encyclopedia*. [Online] Available at: [https://www.rpphotonics.com/signal\\_to\\_noise\\_ratio.html](https://www.rpphotonics.com/signal_to_noise_ratio.html) [Accessed 27 January 2017].
- PT Telkom Indonesia (Persero) Tbk, 2016. *Laporan Tahunan*, Jakarta: s.n.

- Rout, R., Pradhan, S. & Patnaik, S., 2015. Role of DCF Technique for Enhancing Optical Fiber Communication System Utility. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 02(07), pp. 691-696.
- Spectaris German Hightech Industry Association & SPIE , 2016. *Photonics : Technical Application of Light Infographics*, USA: SPIE.
- Wchir, B. et al., 2016. *Performance Analysis of Passive Optical Networks Systems Based on the IM/DD OFDM Modulation Technique*. Beijing, s.n.
- Yan, G., Ruixia, Z., Weifeng, D. & Xiaorong, C., 2009. *Point-to-Point DWDM System Design and Simulation*. Huangshan, Academy Publisher, pp. 90-92.
- Yang, X. & Hechao, Y., 2010. *The Application of OptiSystem in Optical Fiber Communication Experiments*. Jiaozuo, Academy Publisher, pp. 376-378.
- Zanger, H. & Zanger, C., 1991. *Fiber Optics : Communication and Other Applications*. Singapore: Maxwell Macmillan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# LAMPIRAN A

## Surat Keterangan Pengambilan Data

PT. TELEKOMUNIKASI INDONESIA, Tbk.  
WILAYAH TELKOM SURABAYA  
DIVISI TELKOM REGIONAL V JAWA BALI NUSRA



Nomor : Tel. 303/SIMARU/SBY/2017  
Kepada : Sdr. FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI - ITS  
Dari : MANAGER NETWORK AREA SURABAYA  
Lampiran : 1 file(s)  
Perihal : Surat Ijin Masuk dan Ijin Kerja untuk Pengambilan Data Tugas Akhir di STO Kebalen, dan Rungkut

1. Menunjuk dan Menindaklanjuti NDE MGR INFRA DESIGN AND ENGINEERING REGIONAL V Nomor C.Tel. 17/PS 000/DR5-12410000/2017, tanggal 23 Maret 2017 perihal Permohonan Bantuan Pengambilan Data Tugas Akhir (Terlampir).
2. Pada prinsipnya kami memberikan ijin masuk ke lokasi Instalasi PT. TELKOM kepada petugas Saudara untuk melaksanakan pekerjaan dengan ketentuan sebagai berikut :
  - Lokasi : STO Kebalen dan STO Rungkut
  - Kegiatan : Pengambilan Data Tugas Akhir
  - Waktu : 27 Maret 2017 s.d 16 April 2017
  - Jam Kerja : 08:00 s/d 17:00 waktu setempat
  - Petugas : FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI - ITS
    - Sdr. RIMA FITRIA ADIATI, MIRZA RAHMANSYAH
3. Selanjutnya untuk pelaksanaan di lapangan agar diperhatikan hal-hal sebagai berikut :
  - Nama petugas yang melaksanakan pekerjaan harus sesuai dengan yang tertera dalam Nota ini, membawa bukti/surat perintah dari perusahaan yang bersangkutan dan mencatatkan identitas diri masing-masing di bagian satuan pengamanan/security/Petugas Site.
  - Foto Copy Identitas yang masih berlaku petugas, serta foto copy Surat Ijin Masuk Ruang ini diserahkan di bagian satuan pengamanan/security/Petugas Site lokasi setempat.
  - Bahwa sesuai klausul standar IT Security Management System dan Business Continuity Management System, maka setiap personil Mitra terkait kegiatan tersebut di atas DIWAJIBKAN untuk mengisi dan menandatangani Non Disclosure Agreement bermaterai 6000 (form NDA terlampir) dan selanjutnya diserahkan kepada pihak Security di STO sebelum berkegiatan.
  - Bahwa setiap personil Mitra terkait kegiatan tersebut di atas DIWAJIBKAN untuk mengisi Log Book Tamu yang telah disediakan di RUANG PERANGKAT
  - Tidak menimbulkan gangguan terhadap operasional perangkat Existing dan apabila mengakibatkan gangguan pada perangkat Existing menjadi tanggung jawab Mitra, serta menjaga kebersihan, kerapian dan ketertiban di lokasi selama kegiatan berlangsung
  - Untuk pelaksanaan integrasi perangkat harap dikoordinasikan dengan petugas Area Network setempat.
  - Kontak Person : ■ ACHMAD MUSLICH (WASPANG) / NIK : 640986 Telp : 0813-3209-2555
  - PIC Mitra : ■ RIMA FITRIA ADIATI (ITS) Telp : -
4. Demikian kami sampaikan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

**SALAM, Solid, Speed and Smart**

Surabaya, 27 Maret 2017  
MANAGER NETWORK AREA SURABAYA

I DEWA K. SWASTIKA  
NIK : 650658

Lamp-303 : Lampiran1. 20170323 ITS - Pengambilan Data Tugas Akhir Mahasiswa.pdf

Tembusan : 1. GM WITEL SURABAYA  
2. MGR SAS SURABAYA

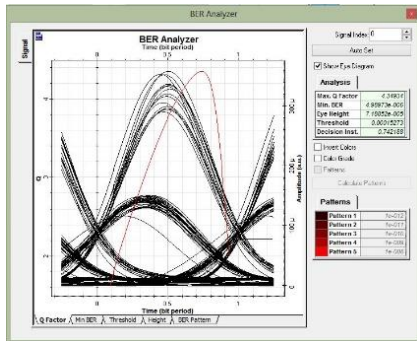
Halaman ini sengaja dikosongkan



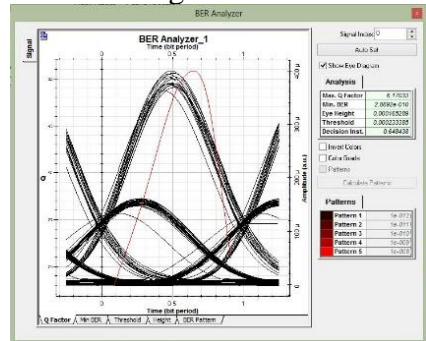
## LAMPIRAN B

### Grafik hasil *BER Analyzer*

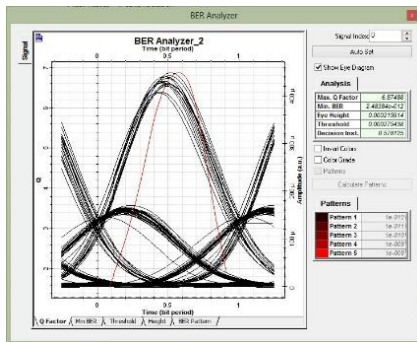
#### 1. Kondisi sesuai *backbone* Lamongan-Kebalen



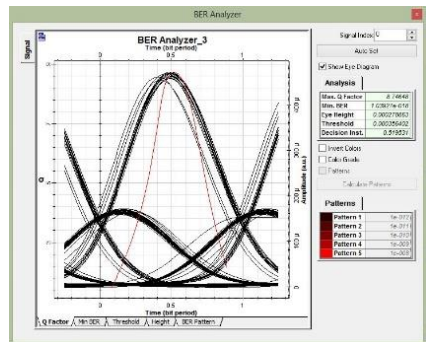
Channel 1



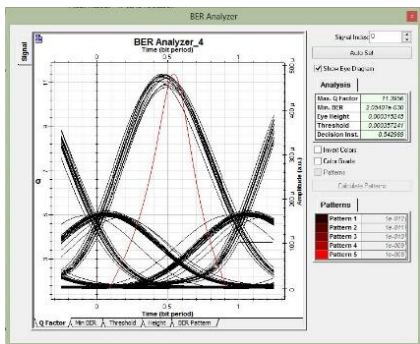
Channel 2



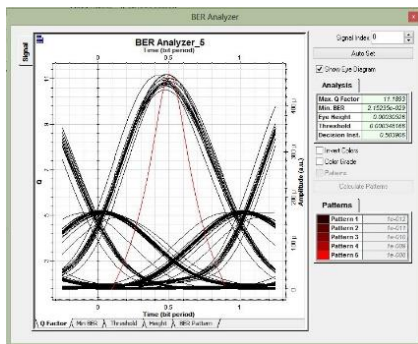
Channel 3



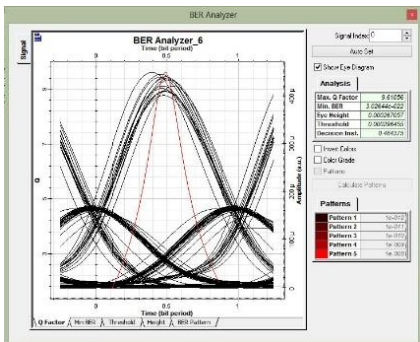
Channel 4



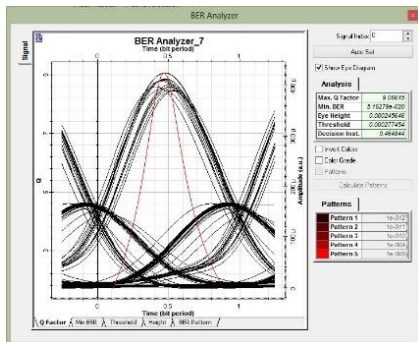
Channel 5



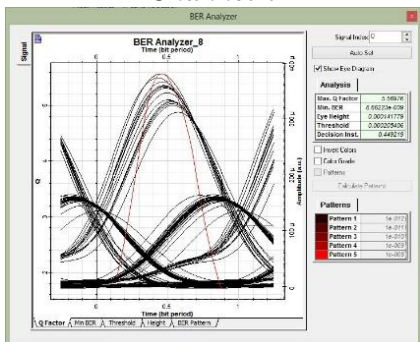
Channel 6



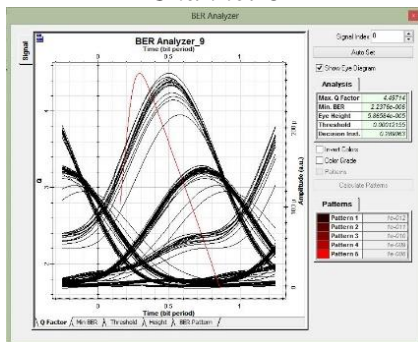
Channel 7



Channel 8

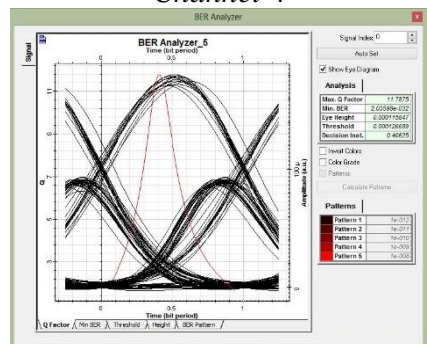
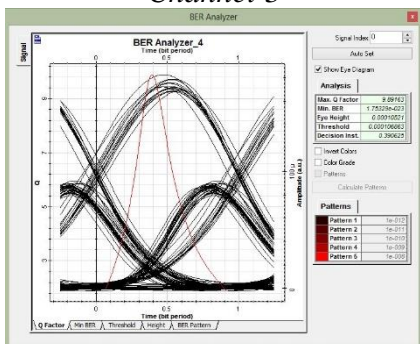
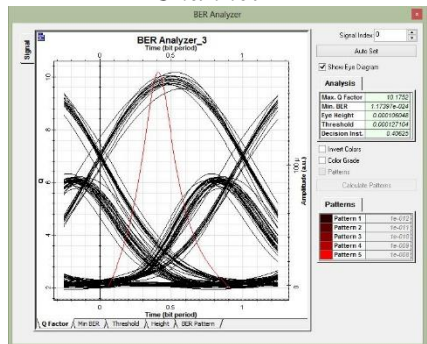
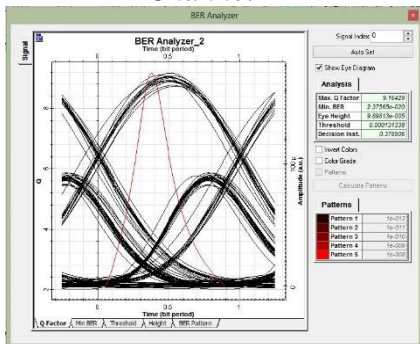
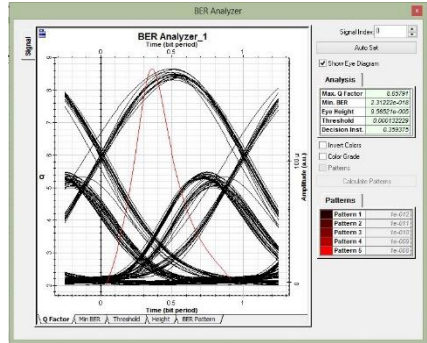
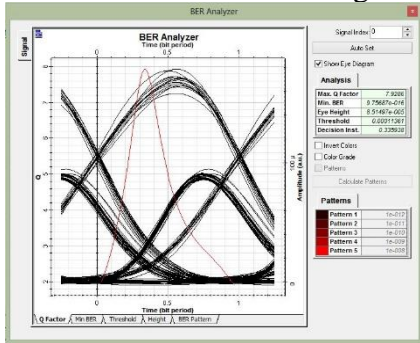


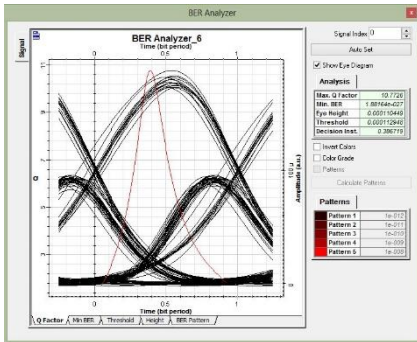
Channel 9



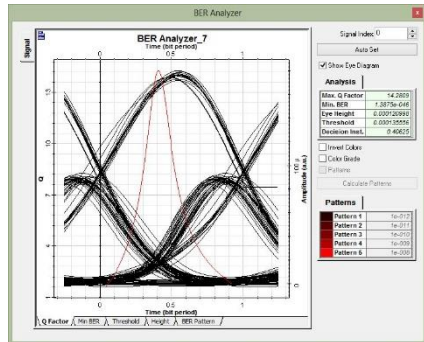
Channel 10

## 2. Pengaruh penambahan DCF

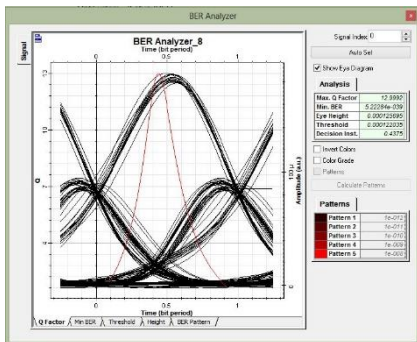




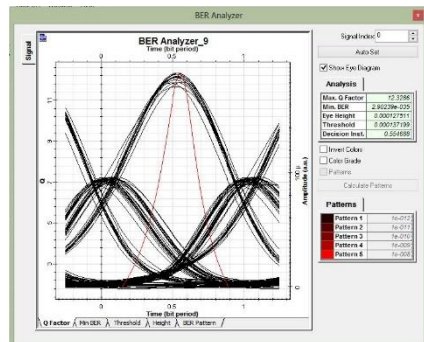
Channel 7



Channel 8

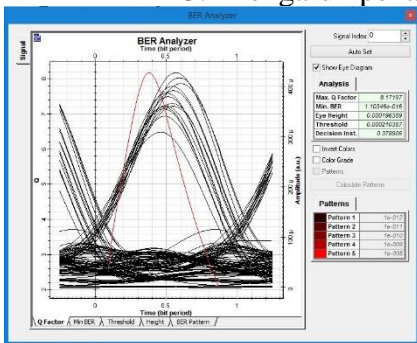


Channel 9

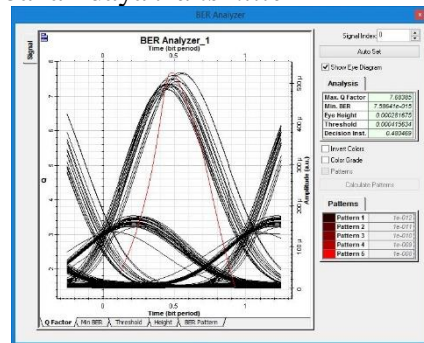


Channel 10

### 3. Pengaruh penambahan daya transmitter

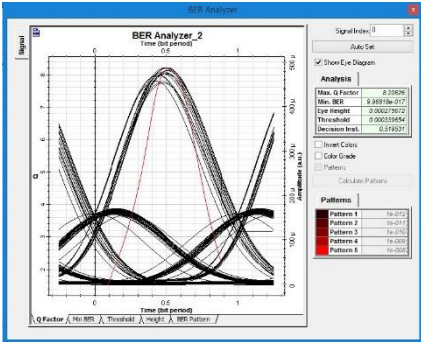


Channel 1

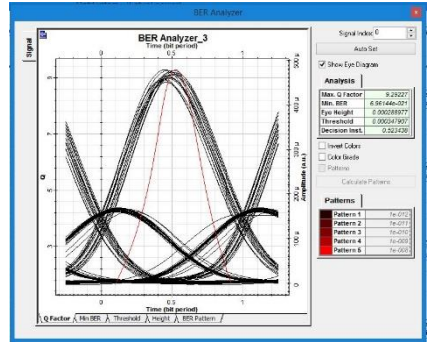


Channel 2

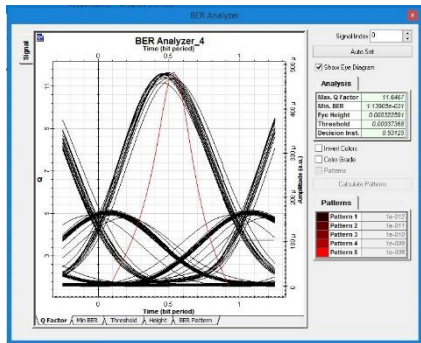




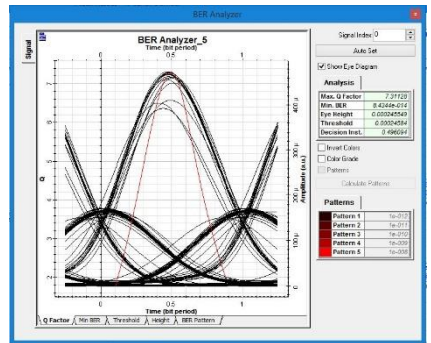
Channel 3



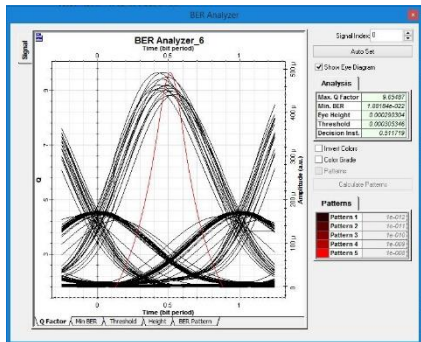
Channel 4



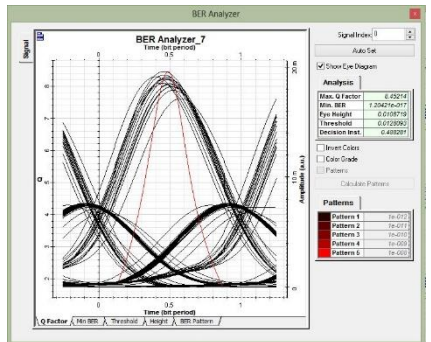
Channel 5



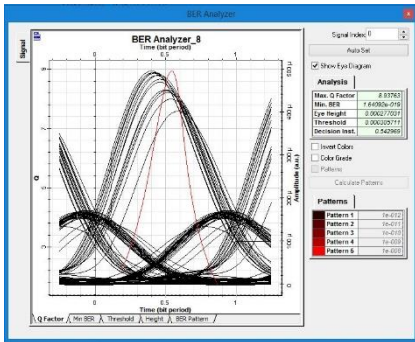
Channel 6



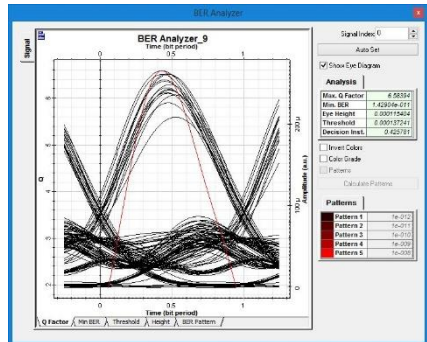
Channel 7



Channel 8



Channel 9



Channel 10

## LAMPIRAN C

### Datasheet Alat Ukur dan Komponen

# NetBlazer V2 Series High-Speed Portable Field Testers

SMARTER TESTING FOR ALL THINGS 64K TO 100G



NetBlazer 100G

EXFO TFv  
Test Function Virtualization

EXFO Connect  
Compatible

iSAM

iOptics

IR6

Wi-Fi

Bluetooth

Feature(s) of this product is/are protected by one or more of patent appl.  
US 2012/0307666 A1 and equivalents in other countries.

The NetBlazer V2 Series is the industry's most complete and portable 64K TO 100G test solution. Optimize your field technicians' tasks with simultaneous coverage of legacy and high speed network interfaces.

## KEY FEATURES AND BENEFITS

### Platform Highlights

- Windows 8.1 (bring your own device, install what you want)
- Custom-designed platform with 128GB of onboard memory, including a micro SD card interface (massively expand the memory)
- Built-in connectivity—choose between Gigabit interface, Wi-Fi, Bluetooth, and 3G or 4G LTE via USB dongle
- Lightweight and portable solution with an ultra-bright, 8-in multitouch screen

### High Speed Interfaces

- Pluggable CFP4 and OSFP28 optics to facilitate the testing of next-generation 100G networks
- Pluggable OSFP+ interface for 40GE

### Transport Testing

- OTU1, OTU1e/1f, OTU2, OTU2e/2f, OTU3, OTU3e 1/e/2, OTU4
- Electrical SONET and SDH testing STS-1e/3e and STM-0e/1e
- DSn testing DS1, DS3 and dual DS1/DS3 RX
- Plesiochronous digital hierarchy (PDH) testing: E1, E3 and E4
- ISDN PRI for DS1 or E1
- Round-trip delay on all interfaces and payload mappings
- Service disruption measurements on all interfaces and mappings
- Overhead monitoring and modification for all time slots
- Printer adjustment

### Ethernet/Fibre Channel/FTTA Testing

- Dual-port or quad-port testing up to 10G
- Single port testing from 40G to 100G
- iSAM: ultra-simple ITU-T Y1564 and RFC 6349 service activation methodology
- IDM to 100G multisection transmission control protocol (TCP) testing with bidirectional RFC 6349
- Power-over-Ethernet validation within cable test
- EtherSAM (Y1564), RFC 2544, traffic generation and monitoring, EtherBERT, Through Mode, Smart Loopback and second-port loopback tool
- Packet synchronization, including IEEE 1588v2 PTP and SyncE
- Carrier Ethernet OAM, including ITU-T Y1731, IEEE 802.1ag, IEEE 802.3ah Link OAM
- Packet capture and advanced filtering up to 100G
- Fibre Channel 1x, 2x, 4x, 8x, 10x and 16x support
- Dual port and Quad Port CPRI testing up to 9.8G
- CPRI base-station (BTS) emulation from 1.2G to 9.8G
- CPRI remote-radio-head (RRH) emulation from 1.2G to 9.8G
- CPRI framed and unframed BER from 1.2G to 9.8G with PRBS stress
- Patterns and latency measurements

## PLATFORM COMPATIBILITY



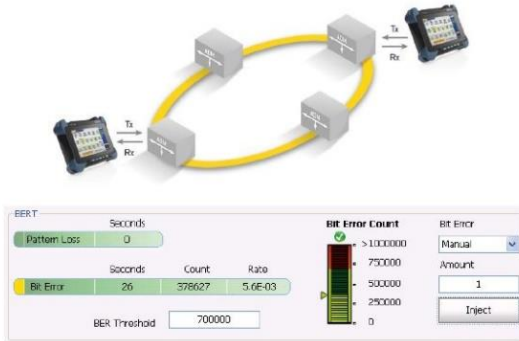
Platform  
FTB-1 Pro

EXFO

## Key DSn/PDH and SONET/SDH Features

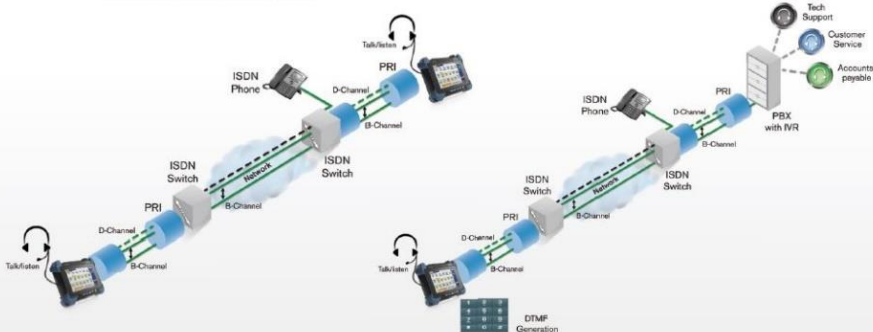
### Simplified BER Testing

The NetBlazer V2 Series offers the ability to preconfigure bit-error-rate (BER) thresholds that are user-defined prior to running the test. This allows for a simple pass/fail verdict at the conclusion of test, leaving no room for misinterpretation of the test results.



## KEY ISDN FEATURES

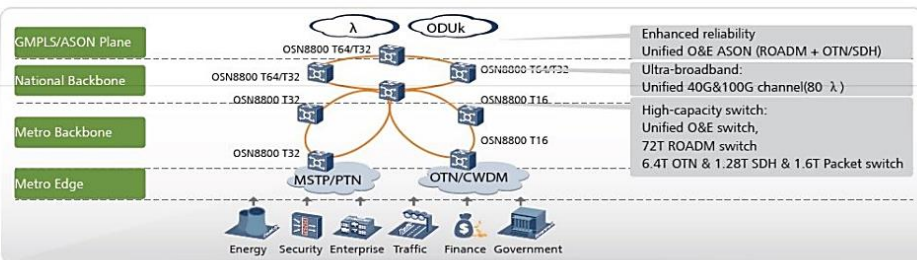
The NetBlazer V2 Series lets you test and troubleshoot North American or European ISDN PRI configurations, and offers best-in-class ISDN PRI testing by allowing field technicians to call one or all 23 DS1 or 31 E1 PRI channels. Once connected, the user can go channel by channel to perform a BER test on individual or all channels, as well as talk and listen via a headset.





# OptiX OSN 8800 T64 & T32

Intelligent Transport Platform for Integrated OTN/WDM/SDH



## High-Capacity Distribution, Unified O&E Switching

- An integrated 3.2 T/6.4 T ODUk (k=0, 1, 2, 2e, 3, 4, flex) & 1.28 T VCx & 1.6 T Packet switch distributes traffic with full, flexible granularity at the electrical layer
- 9 x 8 T (80 x 100 G) Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer (ROADM) switch supports dynamic optical wavelength transport
- O&E hybrid switch ensures complete end-to-end connection with services pass-through and selective wavelength channel add and drop
- Exclusive 64-slots-per-subrack design supports massive services access, switching, and transport, reducing space requirements by up to 80% and power consumption by up to 55%

## Ultra-Broadband Transport, Unified 40 G/100 G Channel

- 100 M to 100 G services can be mapped into ODUk (k=0, 1, 2, 2e, 3, 4, flex), VCx, and packet granules; the 40 G/100 G channels are shared by different ODUk granules, guaranteeing 100% bandwidth utilization
- 4,000 km transport requires no electrical regeneration for 80 x 40 G/100 G bit/s
- Adaptive 40 G solution offers easy transition for long-haul, metro, and legacy fiber upgrades to a 100 G system
- As the global leader in the 100 G market sector, Huawei offers exceptional experience and support to help you design your network
- As the industry record-holder for the longest 100 G transmission (4,000 km for a terrestrial network and 10,000 km for a sub-sea network), Huawei delivers cost-effective, proven solutions

## Enhanced Network Reliability, Unified O&E ASON



- The ASON provides alternate recovery routing to enhance network security, strengthen service availability, and lower maintenance cost
- SLA (Service Level Allocation) categories of Diamond, Gold, Silver, Copper, and Iron enable customized Quality of Service (QoS) options for client services delivery
- Built-in advanced planning tools provide network design and restoration simulation, enabling efficient network engineering
- Over 250 network deployments of ROADM+OTN+SDH ASON applications establish Huawei's expertise developing and supporting advanced switching technologies

## Precise Clock Transport

- Both OTN and SDH networks support clock transport
- The platform supports a physical 2M clock as well as SyncE transport
- Enhanced network protection with an end-to-end network monitor ensures high clock reliability

## Unique Optical Doctor, Optimizing Network Maintenance

- The platform supports OSNR and power monitoring of any wavelength at 10 Gbit/s, 40 Gbit/s, or 100 Gbit/s
- Proprietary on-line analysis software facilitates network maintenance by monitoring services and identifying faults at each service layer

Specifications		 OptiX OSN 8800 T32	 OptiX OSN 8800 T64
Dimensions (mm)		900 (H) x 498 (W) x 295 (D)	900 (H) x 498 (W) x 580 (D)
Number of card slots		32	64
Switch	Optical	2/4/9-degree ROADM	
	Electrical	3.2 T ODUk (k=0, 1, 2, 2e, 3, 4, flex), 1.28 T VC4 & 80 G VC3 & VC12, 1.6 T Packet	
Number of Wavelengths		40/80	
Wavelength Range		192.1 THz to 196.05 THz (Band-C, ITU-T G.694.1)	
Max Rate per Channel		100 G (OTU4)	
Reach		Maximum 350 km (81dB)	
Client Interface	Type	STM-1/4/16/64/256	
		OC-3/12/48/192/768	
		OTU1/OTU2/OTU3/OTU4	
		Any service at rates ranging from 100 Mbit/s to 100 Gbit/s	
	Fiber	FE/GE/10 GE/40 GE/100 GE	
Line Interface	Connector	ESCON/FICON/FICONExpress/FC100/FC200/FC400/FC1200/HDTV/ DVB-ASI/DVB-SDI/SDI/ FDDI	
		G.652, G.653, G.654, G.655	
Topology Point-to-Point		Chain	
SyncE Synchronization		2 Mbit/s	
Protection Mechanisms Protocol	Hardware	Cross-connect 1+1 backup, control board 1+1 backup and power 1+1 backup, clock 1+1 backup	
	Protocol	OTN network level protection: optical line protect, optical channel protect, ODUk (k=0, 1, 2, 2e, 3, 4) SNCP protection, ODUk (k=0, 1, 2, 2e, 3, 4) SPRing protection, Optical Wavelength Shared Protection (OWSP), ASON	
ASON	Protocol	SDH network level protection: linear 1+1/1:N/ring MSP, SNCP, TOA, DNI, DLAG & LAG and Fiber Shared-Virtual Path Protection, ASON	
		Optical intelligent platform	
		Electrical intelligent platform (ODUk & VCx)	
		End-to-end service configuration	
		MESH networking protection and restoration	
Mount Method		ETSI 300/600 cabinet, 23-inch rack	
Operating Temperature		-5°C to 45°C	
Cooling		Fan Cooling	
Humidity		10 to 90%	
Power Input		DC: -48/-60V	

# OPTICAL FIBER CABLE

The number of fiber in a cable varies from 4 to 96 (more number of fibers are provided upon request). Optical fiber cables will generally undergo 4 processes of production line such as Coloring Line, secondary Coating Line, SZ- stranding Line and Sheathing Line.

- **Coloring Production Line:**

Fiber Coloring Process is carried out to mark the fiber. For easy identification of individual fiber inside the tubes, they are color coded. The colors have no influence on the optical properties of the fibers. The fiber are colored using UV ink which are chosen as industry standard, easily in stripping, jointing and stability of optical loss under various stress.

- **Secondary Coating Production Line:**

This process uses Polybutylene Terephthalate (PBTP) as tube material which extremely has good thermal, hydrolysis and mechanical properties. The tubes contain fibers and are filled with special typical gel. Secondary coating or tubing process is used to protect the optical fibers during cabling and installation process.

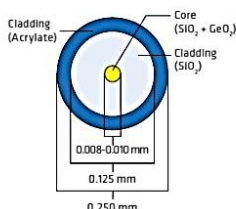
- **SZ- Stranding Production line:**

Stranding process which is around polyethylene coated central strength member applies SZ- Stranding Method. The stranding is filled with jelly as Flooding Compound to fill any space of the cable to block the flow of water into the cable.

- **Sheathing Production Line:**

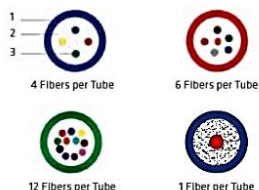
Sheathing line is an unit which its process protects the optical cable core from mechanical, thermal and chemical effects, associated with storage, installation and operation. The core covering is covered with laminated Aluminium Polyethylene (LAP) sheath containing carbon black, to provide an electrical ground and moisture barrier. Sheathing also uses armouring wire or tape between inner and outer sheath to provide a mechanical protection on direct buried cable. The sheath is usually over printed to identify the type of cable of a particular point.

## OPTICAL FIBER DESIGN



Each fiber is made of high purity Silica ( $\text{SiO}_2$ ) Glass doped with Germanium ( $\text{GeO}_2$ ) and fused ( $\text{SiO}_2$ ) depressed cladding design for excellent geometrical properties for splicing and micro bending resistance. This fiber core is protected by two layers of UV-cured acrylate coating which is strong and durable enough to stand up to the challenge such as; micro bending losses, abrasion resistance, etc but remain easy to strip and splice.

## BASIC CABLE DESIGN



The cable core consists of stranded - six or eight thermal plastic elements with a central strength member. Elements could be either tubes, filler rods.

The coloured Polybutylene Terephthalate (PBTP) tube contains 4, 6, or 12 coloured fibers with its configuration (table 1 and 2) and water blocking compound to prevent moisture/water penetration and axial migration.

Now, there is cable core consists of stranded - twelve thermal plastic elements with a central strength member. Elements could be either tubes, filler rods, and Polybutylene Terephthalate (PBTP) tube contains 1 fibers.

## THE CHARACTERISTIC OF OPTICAL FIBER CABLE

Optical Fiber No.	Color of Fiber
1	Blue
2	Orange
3	Green
4	Brown
5	Grey
6	White
7	Red
8	Black
9	Yellow
10	Violet
11	Pink
12	Turquoise

Table 1. Color Scheme of Optical Fibers

Tube No.	Color of Tube
1	Blue
2	Orange
3	Green
4	Brown
5	Grey
6	White
7	Red
8	Black
9	Yellow
10	Violet
11	Pink
12	Turquoise

Table 2. Color Scheme of PBTP Tubes

Table 3. Optical Characteristic of G.652D, G655C, G657A

Characteristic	Value	Unit
Fiber Type	Single Mode	-
Mode Field Dia. At 1310 nm	9 to 10 ± 10%	µm
Mode Field Concentricity Error	< 1	µm
Cladding Diameter	125 ± 2	µm
Cladding non Circularity	< 2	%
Coating Diameter	250 ± 15	µm
Maximum Attenuation at 1310 nm	0.4	dB/km
Maximum Attenuation at 1550 nm	0.3	dB/km
Maximum Chromatic dispersion at 1310 nm	3.5	Ps/(nm.Km)
Maximum Chromatic dispersion at 1550 nm	18	Ps/(nm.Km)
Min. Bending Radius at full Tensile Strength	20 x cable OD	-
Maximum Cut Off Wavelength at 1310 nm (λ <sub>cc</sub> )	1260	nm
Zero Dispersion Wavelength (λ <sub>o</sub> )	1300 - 1324	nm
Zero Dispersion Slope (S <sub>o</sub> )	≤ 0.095	Ps/(nm <sup>2</sup> .Km)

Table 4. Environment condition

Item	Value	Unit
Operating Temperature	10 - 50	°C
Operating Relative Humidity	20 - 100	%
Storage Temperature	10 - 70	°C
Storage Relative Humidity	20-95	%

# Tunable SFP+ Optical Transceiver with Linear Electrical Interface

JST Series





The Lumentum Tunable SFP+ Optical Transceiver is a full duplex, integrated fiber optic transceiver that provides a high-speed serial link at 9.95 to 11.3 Gbps signaling rates. The transceiver supports the enhanced small form factor pluggable module (SFP+) specification SFF-8431 Rev. 4.1 for the electrical interface, SFF-8432 Rev. 5.0 for the mechanical interface, SFF-8690 Rev. 1.4 for the tunability interface, and SFF-8472 Rev. 11.0 for the management interface.

The transceiver complies with IEEE 802.3-2012 clause 52 and it supports 10GBase-ZR/ZW (Ethernet), 10 G Fibre Channel (FC), and corresponding forward error correction (FEC) rates. It supports Telcordia GR-253-CORE OC-192 LR-2 and ITU-T G.959.1 P1L1-2D2 data rates.

It integrates the receive and transmit path on one module. On the transmit side, the serial data stream is passed from the electrical connector to a modulator driver. The modulator driver biases and modulates a C-band cooled tunable transmitter, enabling data transmission over up to 80 km of single-mode fiber through an industry-standard LC connector. On the receive side, the 10 G optical data stream is recovered from an avalanche photodetector (APD) through a transimpedance amplifier to the electrical connector. This module features a hot-pluggable SFI-compliant linear electrical interface.

#### Key Features

- Supports 9.95 to 11.3 Gbps line rates
- SFF-8431 MSA Revision 4.1 compliant
- SFF-8690 MSA Revision 1.4 compliant
- Full C-band tunable laser source
- 50 GHz ITU channel spacing
- 80 km reach
- Operating temperature range of -5 to 70°C
- Maximum power dissipation of 1.7 W
- RoHS6/6 compliant
- Linear SFI AC-coupled electrical output interface
- Supports digital diagnostic monitoring

#### Applications

- Wide area networks (WAN)
- Local area networks (LAN)
- Storage area networks (SAN)
- Ethernet switches and applications
- FC switches and applications

#### Compliance

- IEEE 802.3-2012 clause 52 standard
- 10 G FC standard
- SFF-8431 Rev 4.1
- SFF-8432 Rev 5.0
- SFF-8472 Rev 11.3
- SFF-8690 Rev 1.4
- Class 1 laser safety
- Tested in accordance with Telcordia GR-468
- ROHS 6/6

### 3.3 Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings represent the device's damage thresholds. Permanent damage may occur if the device is stressed beyond the limits stated here.

Parameter	Symbol	Ratings	Unit
Storage temperature	T <sub>ST</sub>	-40 to +85	°C
Relative humidity	RH	5 to 85 (noncondensing)	%
Static electrical discharge (human body model)	ESD	200	V
Power supply voltages	V <sub>CC</sub> T, V <sub>CC</sub> R	-0.3 to 4.0	V
Receive input optical power (damage threshold)	P <sub>RM</sub>	+4	dBm

### 3.4 Operating Conditions

Operating conditions establish the range over which the electrical and optical specifications are defined, unless otherwise noted. Performance is not guaranteed for operation at any condition outside the operating limits indicated in this section, except as otherwise noted.

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Operating case temperature	T <sub>OP</sub>	-5	+70	°C
Power supply voltages	V <sub>CC</sub> T, V <sub>CC</sub> R	3.135	3.465	V
Receiver wavelength range	λ	1528.38	1568.77	nm

### 3.5 Low-Speed Electrical and Power Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Notes
<b>Supply Currents and Voltages</b>						
Voltage	V <sub>CC</sub> T, V <sub>CC</sub> R	3.135	3.3	3.465	V	With respect to GND
Instantaneous operating peak current	—	—	—	600	mA	Per supply pin V <sub>CC</sub> T and V <sub>CC</sub> R Compliant with SFF-8431
Sustained operating peak current	—	—	—	500	mA	Per supply pin V <sub>CC</sub> T and V <sub>CC</sub> R Compliant with SFF-8431
Power dissipation	P <sub>WR</sub>	—	—	1.7	W	—

#### Low-Speed Control and Sense Signals (detailed specification in SFP+ MSA SFF-8431 Rev. 4.1)

Outputs (Tx_Fault, Rx_LOS)	V <sub>OL</sub>	-0.3	—	0.4	V	At 0.7 mA
	I <sub>OH</sub>	-50	—	37.5	μA	Measured with a 4.7 kΩ load pulled up to V <sub>CC</sub> host <sup>1</sup>
Inputs (Tx_Disable, RS0, RS1)	V <sub>IL</sub>	-0.3	—	0.8	V	Pulled up in module to V <sub>CC</sub> T
	V <sub>IH</sub>	2	—	V <sub>CC</sub> 3+0.3	V	—
SCL and SDA inputs	V <sub>L</sub>	-0.3	—	V <sub>CC</sub> 3+0.3	V	—
	V <sub>SH</sub>	V <sub>CC</sub> 3+0.7	—	V <sub>CC</sub> 3+0.5	V	Pulled up on host to V <sub>CC</sub> host <sup>1</sup> (typical 4.7 - 10 kΩ)

### 3.6 High-Speed Electrical Specifications

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Notes
<b>Transmitter electrical input jitter from host at B" (detailed specification in SFP+ MSA SFF-8431 Rev. 4.1)</b>						
Data-dependent jitter <sup>2</sup>	DDJ	—	—	0.10	UI <sub>P-8</sub>	—
Uncorrelated jitter <sup>3</sup>	UJ	—	—	0.023	UI <sub>rms</sub>	—
Data-dependent pulse width shrinkage jitter <sup>2</sup>	DDPWS	—	—	0.055	UI <sub>P-8</sub>	—
Total jitter <sup>4</sup>	TJ	—	—	0.28	UI <sub>P-8</sub>	—
Eye Mask	X1	—	—	0.12	UI	Mask hit ratio of 5x10 <sup>-5</sup>
	X2	—	—	0.33	UI	
	Y1	95	—	—	mV	
	Y2	—	—	350	mV	
Input impedance, differential	—	—	100	—	Ω	—
<b>Linear module receiver electrical output jitter to host at C' (detailed specification in SFP+ MSA SFF-8431 Rev. 4.1)</b>						
Differential voltage Modulation amplitude	VMA	150	—	600	mV	Linear electrical interface; Measured between receiver sensitivity level and overload

1. V<sub>CC</sub>host (min) 3.135 V - (max) 3.465 V

2. PRBS9 pattern, 10.3 Gbps

3. PRBS31 or valid 64B/66B, 10.3 Gbps

4. PRBS31 pattern, BER<1x10<sup>-12</sup>, 10.3 Gbps

### 3.7 Optical Transmitter Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Average optical power <sup>1</sup>	$P_{avg}$	-1	—	3	dBm
Extinction ratio <sup>2</sup>	ER	9.0	—	—	dB
Center wavelength <sup>1,3</sup>	$\lambda_c$	1528.38	—	1568.77	nm
Frequency range <sup>3</sup>	$f_c$	191.1	—	196.15	THz
Frequency center spacing	—	—	50	—	GHz
Frequency stability (BOL)	—	$f_c - 1.5$	—	$f_c + 1.5$	GHz
Frequency stability (EOL)	—	$f_c - 2.5$	—	$f_c + 2.5$	GHz
Channel tuning time, any channel to any channel	—	—	—	50	ms
Side mode suppression ratio	SMSR	35	—	—	dB
Jitter generation	—	—	—	—	—
4 MHz to 80 MHz	—	—	—	0.1	$UI_{p-p}$
20 kHz to 80 MHz	—	—	—	0.3	$UI_{p-p}$
Spectral width <sup>4</sup>	—	—	—	200	pm
Relative intensity noise	RIN	—	—	-130	dB/Hz
Return loss <sup>5</sup>	—	24	—	—	dB

### 3.8 Optical Receiver Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Receiver overload <sup>6</sup>	$P_{max}$	-7	—	—	dBm
Receiver reflectance <sup>6</sup>	$R_{rx}$	—	—	-27	dB
LOS assert <sup>7</sup>	$P_{bol, on}$	-33.5	—	—	dBm
LOS deassert	$P_{bol, off}$	—	—	-26	dBm
LOS hysteresis	—	0.5	—	4	dB
Data Rate (Gbps)	BER	Rx Sensitivity <sup>8</sup> 0 ps/nm		Rx Sensitivity <sup>8</sup> -400 to +1600 ps/nm	
		Max		Max	
9.95, 10.3, 10.5	$1 \times 10^{-12}$	-23		-21	
10.709	$1 \times 10^{-4}$	-26		-25	
11.1	$1 \times 10^{-4}$	-26		-25	
11.3	$1 \times 10^{-4}$	-26		-24.5	

### 3.9 OSNR Characteristics with External EDC<sup>9</sup>

Data Rate (Gbps)	BER	Dispersion (ps/nm)	Rx Power Range (dBm)		OSNR (dB)
			Min	Max	
9.95, 10.3, 10.5	$1 \times 10^{-12}$	0	-19	-7	24
9.95, 10.3, 10.5	$1 \times 10^{-12}$	-400 to +1600	-19	-7	26
10.709	$1 \times 10^{-4}$	0	-19	-7	15.5
10.709	$1 \times 10^{-4}$	-400 to +1600	-19	-7	17.5
11.1	$1 \times 10^{-4}$	0	-19	-7	16
11.1	$1 \times 10^{-4}$	-400 to +1600	-19	-7	18.5

- Optical power and wavelength range are only guaranteed when the electrical input applied to TD+ and TD- is greater than the minimum specified in Section 3.6
- Tested with a PRBS 2<sup>31</sup>-1 pattern
- ITU grid wavelength in Section 3.14
- At -20 dB, 0.01 nm RBW
- Minimum optical return loss at the source reference point, MPI-S (per ITU-T G.959.1)
- Maximum discrete reflectance between source reference point, MPI-S, and receive reference point, MPI-R (per ITU-T G.959.1)
- Receiver LOS assert level (per average power) is programmable upon request.
- Measured with worst ER; PRBS 2<sup>31</sup>-1; over specified wavelength range; OSNR >30 dB; with external electronic dispersion compensation (EDC)
- Specifications apply under these conditions:



## BIODATA PENULIS



### **Rima Fitriadi Adiati**

adalah putri pertama dari Gatot Suprihadi, S.T. dan Mujiati yang lahir di Kediri, 25 Februari 1996. Sempat menghabiskan masa kecil di Gresik, pada tahun 2002, Penulis melanjutkan pendidikan di SDN Lirboyo IV Kel. Lirboyo Kota Kediri dan lulus pada tahun 2008 untuk lanjut ke SMPN 4 Kediri. Setelah lulus pada tahun 2011 penulis memasuki SMAN 1 Kediri dan mengikuti program akselerasi sehingga lulus pada tahun 2013. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika ITS. Hingga tahun ketiga, penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika, sekretaris SPIE *Student Chapter*, *Idjo Creative Crew* Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (ICC HMTF) ITS serta telah menjadi asisten dosen untuk mata kuliah Wawasan Teknologi dan Komunikasi Ilmiah (WTKI) sejak Januari 2016. Penulis dapat dihubungi melalui email [rima.adiati@gmail.com](mailto:rima.adiati@gmail.com)